



PROJETOS EM CONSTRUÇÃO MODULAR DE MADEIRA DE BAIXO CUSTO PARA HABITAÇÕES

MATEUS DO NASCIMENTO CALMON

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM PROJETO INTEGRADO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

Orientador: Professor Doutor José Manuel Marques Amorim de Araújo Faria

MARÇO DE 2023

MESTRADO DE PROJETO INTEGRADO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS 2022/2023

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado de Projeto Integrado na Construção de Edifícios - 2022/2023 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrônica fornecida pelo respetivo Autor.

Os orientadores reservam-se nos direitos sobre os créditos deste documento.

AGRADEDIMENTOS

A Minha Mãe e Minha Vó que me deram condições e sabedoria para fazê-lo.

RESUMO

O preço das habitações em áreas centrais de grandes cidades tem aumentado constantemente em Portugal, sendo 2022 o ano onde ocorreu o maior aumento em 30 anos [1]. Este aumento acontece devido a vários fatores, incluindo a oferta limitada de moradias e a procura crescente por imóveis em regiões urbanas. Como resultado, é essencial desenvolver projetos de construção de baixo custo que possam ser replicados em grande escala, seguindo critérios de modulação, pré-fabricação, industrialização e sustentabilidade, baseados em conceitos arquitetónicos inovadores e disruptivos.

O escopo da dissertação consiste em um estudo sobre a construção modular em estruturas de madeira, através da aplicação de princípios de engenharia e conceitos construtivos gerais. O enfoque recai sobre a utilização de sistemas modulares no âmbito da construção de moradias usando como material estrutural base o MLC – madeira lamelada colada – glulam. Teve como princípios base usados na conceção, a otimização do uso de materiais e a redução dos custos e do tempo de construção inerentes aos processos construtivos e a utilização de modernas ferramentas digitais, como por exemplo o BIM.

Fez-se uma pesquisa bibliográfica, com base no objetivo enunciado, a fim de analisar o estado da arte do tema em questão. Mediante a análise dos estudos, pode-se concluir que a construção modular em estruturas de madeira é abordada por diferentes perspectivas, no que se refere aos sistemas modulares na construção de moradias em madeira, o que confere uma maior diversidade temática e provoca o surgimento de muitas e variadas reflexões acerca do assunto de que se apresentam exemplos no capítulo inicial de estado da arte dissertação.

Todavia, embora a construção modular tenha vantagens, em termos de rapidez e sustentabilidade, ela também apresenta desvantagens. Faz-se uma reflexão teórica sobre as vantagens e desvantagens da construção modular em estruturas de madeira, a fim de determinar a viabilidade de sua aplicação em projetos específicos de baixo custo.

Com base nos estudos realizados e nos exemplos de mercado encontrados, foi desenvolvida uma estrutura modular 3D em *timber frame*, utilizando MLC de abeto. Essa estrutura é facilmente transportável por caminhões, oferecendo uma solução prática e eficiente para a construção de moradias em madeira.

Os módulos foram concebidos para serem pré-fabricados em fábrica, permitindo um alto padrão de controlo da qualidade e uma redução significativa no tempo e nos desperdícios de construção. Em obra, a montagem dos módulos é realizada facilmente, sendo necessário apenas realizar as ligações entre os módulos, e também a ligação com a fundação e com as redes públicas de infraestruturas de água, saneamento, eletricidade, ITED e águas pluviais, entre outras.

Termina-se com uma avaliação de carácter geral e reflexão sobre a viabilidade e interesse do protótipo concebido que, de momento, apenas existe ao nível conceptual. Conclui-se que a solução criada é viável e interessante, justificando-se passar à fase de protótipo físico. No contexto atual, em que a sustentabilidade é uma questão fundamental para o futuro do planeta, a utilização de estruturas modulares 3D em *timber frame* apresenta-se como uma alternativa promissora para a construção de moradias. No entanto, é importante contudo admitir que esse tipo de solução demanda a criação de fábricas especializadas na produção dos módulos, bem como a adaptação dos processos construtivos convencionais, pelo que da ideia à implementação ainda subsiste um longo caminho a percorrer.

Palavras-chave: Construção Modular, Moradia Pré-fabricada, Industrialização da Construção, Construção em Madeira, Arquitetura Modular, BIM.

ABSTRACT

The price of housing in central areas of major cities in Portugal has been steadily increasing, with 2022 being the year with the highest increase in 30 years [1]. This increase is due to various factors, including limited housing supply and growing demand for properties in urban areas. As a result, it is essential to develop low-cost construction projects that can be replicated on a large scale, following criteria of modularity, prefabrication, industrialization, and sustainability, based on innovative and disruptive architectural concepts.

The scope of the dissertation consists of a study on modular construction in wooden structures, through the application of engineering principles and general construction concepts. The focus lies on the use of modular systems in the construction of houses, using glued laminated timber (glulam) as the base structural material. The main principles used in the design include material optimization and the reduction of costs and construction time inherent to the construction processes, as well as the utilization of modern digital tools such as Building Information Modeling (BIM).

Bibliographic research was conducted based on the stated objective in order to analyze the state of the art of the subject. Through the analysis of studies, it can be concluded that modular construction in wooden structures is approached from different perspectives. Regarding modular systems in the construction of wooden houses, this diversity of themes gives rise to a wide range of reflections on the subject, which are presented as examples in the initial chapter of the dissertation's state of the art.

However, although modular construction has advantages in terms of speed and sustainability, it also presents disadvantages. A theoretical reflection is made on the advantages and disadvantages of modular construction in wooden structures to determine the feasibility of its application in specific low-cost projects. Based on the conducted studies and the market examples found, a 3D modular timber frame structure was developed using glulam made from spruce. This structure is easily transportable by trucks, offering a practical and efficient solution for the construction of wooden houses.

The modules were designed to be prefabricated in a factory, allowing for a high standard of quality control and a significant reduction in construction time and waste. On-site, the assembly of the modules is easily done, requiring only the connections between the modules, as well as the connection to the foundation and public infrastructure networks such as water, sanitation, electricity, ITED, and stormwater, among others.

The dissertation concludes with a general evaluation and reflection on the feasibility and interest of the conceived prototype, which currently only exists at the conceptual level. It is concluded that the created solution is viable and interesting, justifying the transition to the phase of physical prototyping.

In the current context, where sustainability is a fundamental issue for the future of the planet, the use of 3D modular timber frame structures emerges as a promising alternative for housing construction. However, it is important to acknowledge that this type of solution requires the establishment of specialized factories for module production, as well as the adaptation of conventional construction processes. Therefore, there is still a long way to go from the idea to implementation.

Keywords: Modular Construction, Prefabricated Housing, Construction Industrialization, Timber Construction, Modular Architecture, Building Information Modeling (BIM).

ÍNDICE GERAL

RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE GERAL	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
SÍMBOLOS E ABREVEATURAS	XIII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	1
1.3 ETAPAS DO TRABALHO DESENVOLVIDO	2
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
2 ESTADO DA ARTE	5
2.1 MADEIRA	5
2.1.1 Enquadramento Histórico Geral	5
2.1.2 Características Gerais da Madeira	6
2.1.3 Tipos De Madeira e Seus Derivados para Construção	7
2.1.4 Vantagens do Uso da Madeira	11
2.1.5 Estruturas em Madeira	16
2.2 CONSTRUÇÃO MODULAR	18
2.2.1 Introdução	18
2.2.2 Definições	18
2.2.3. Vantagens e Desvantagens da Construção Modular	19
2.2.4 Componentes Modulares	20
2.2.5 Tipos de Construções Modulares	21
2.2.6 Tipos de Sistemas Modulares	22
2.2.7 Módulo e Sistema de Referência	23
2.3 CONSTRUÇÃO MODULAR E BIM	25
2.3.1 Enquadramento Geral	25
2.3.2 Etapas do BIM no Processo Construtivo	26
2.3.3. BIM para Profissionais da Construção Civil	28
2.3.4. BIM em Projetos de Construção Modular em Madeira	30
2.3.5. Vantagens e Desvantagens	31
3 SOLUÇÕES EXISTENTES – MADEIRA COMO MATERIAL CONSTRUTIVO	33
3.1. INTRODUÇÃO	33
3.2 JULAR MADEIRAS – SISTEMA TREEHOUSE	34
3.2.1 Processo de Concepção - Treehouse	37
3.3 SISTEMA MIMA HOUSING	39
3.3.1 Processo de Concepção – MIMA Housing	41
3.3.2 Tabela Comparativa – Treehouse e MIMA Housing	43
3.3 MODULAR SYSTEM	43
3.4 INMOWOOD	46
4 DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO	49
4.1 INTRODUÇÃO	49
4.2 CONCEITO	50

4.3 PARTIDO	51
4.3.1 Introdução	51
4.3.2 Definição do Partido e Suas Diretrizes	52
4.3.3 Fundações	56
4.3.4 Lajes Inferiores e Superiores	57
4.3.5 Pilares e Vigas	62
4.3.6 Paredes Exteriores	64
4.3.7 Paredes Interiores	69
4.3.8 Cobertura	72
4.3.9 Revestimento de Piso	75
4.5. PROJETO DE ARQUITETURA E URBANISMO	76
4.6. PROJETOS HIDRÁULICOS	79
4.6.1 Considerações Gerais	79
4.6.2 Rede de Distribuição de Água	81
4.6.3 Rede de Drenagem de Esgotos	83
4.6.4 Rede de Drenagem Pluvial	86
4.7 SÍNTESE DO CAPÍTULO	87
5 CONCLUSÃO	89
5.1 REFLEXÃO GERAL. SÍNTESE	89
5.2 OBJETIVOS ALCANÇADOS	90
5.3 OBJETIVOS FUTUROS	91
5.4 PROTÓTIPO FÍSICO DA SOLUÇÃO PROJETADA	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXOS	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 – Abrigo pré-histórico, fonte [03]	5
Figura 02 – Hórreo em Somiedo, fonte [03]	5
Figura 03 – Estrutura de Pau-a-pique, fonte [04]	6
Figura 04 – Estrutura interna do tronco, fonte [06].	7
Figura 05 – Resistência mecânica das espécies, fonte [06].	7
Figura 06 – Durabilidade as espécies, fonte [05].	8
Figura 06 – Contraplacado, fonte [05].	9
Figura 07 – OSB, fonte [11].	9
Figura 08 – MDF, fonte [12].	10
Figura 09 – CLT, fonte [14].	11
Figura 11 – Poluição e desperdícios gerados pelos materiais, fonte [08].	12
Figura 12 – Avaliação do Ciclo de Vida, fonte [08].	13
Figura 13 – Consumo de Recursos, fonte [08].	13
Figura 14 – Comparação de custos de Construção, fonte [08].	14
Figura 15 – Isolante Térmico em Parede de Madeira, fonte [29].	14
Figura 16 – Viga de MLC após teste de resistência ao fogo, fonte [08].	15
Figura 17 – Timber Frame, fonte [30].	16
Figura 18 – Light Frame, fonte [30].	17
Figura 19 – Construção Modular em Fábrica, fonte [35].	18
Figura 20 – Transporte de um módulo em caminhão, fonte [38].	20
Figura 21 – Componentes Modulares, fonte [39].	21
Figura 22 – Edifício Relocável, fonte [42].	22
Figura 23 – Cronograma: Construção Modular x Construção Sustentável, fonte [40].	22
Figura 24 – Diferentes Sistemas Modulares, fonte [43].	23
Figura 25 – Residência feita a partir de módulos, fonte [45].	24
Figura 26 – Sistema de Referência, fonte [46].	25
Figura 27 – Sistema Referencial e sua Aplicação, fonte [34].	25
Figura 28 – BIM x CAD, fonte [50].	26
Figura 29 – Dimensões do Bim, fonte [48].	26
Figura 30 – Resumo das etapas do BIM, fonte [51].	28
Figura 31 – Problemas de Compatibilização, fonte [52]	29
Figura 32 – Benefícios do Processo BIM, fonte [53].	29
Figura 33 – Vigas em Madeira em software BIM, fonte [56]	30
Figura 34 – Projeto em Madeira utilizando modelagem BIM, fonte [58]	31
Figura 35 – Relação Tempo com Custo do projeto utilizando método BIM, fonte [59].	32
Figura 36 – Refeitório Bluepharma – Modular System, fonte [60]	33
Figura 37 – Casa modelo modular T3 – Imowood, fonte [61]	34

Figura 38 – TreeHouse Spot – Jular, fonte [10]	34
Figura 39 - Casa Riga, Appleton & Domingos – fonte [62]	35
Figura 40 - Esquema de funcionamento dos módulos – fonte [41]	35
Figura 41 - Plantas do Módulos-base, TreeHouse – fonte [41]	36
Figura 42 - Planta com dois pavimentos, TreeHouse– fonte [41]	37
Figura 43 – Sistema Multilayer – Fonte [63]	37
Figura 44 – Vigas Finnjoist – Fonte [10].....	38
Figura 45 - Casa Riga, Appleton & Domingos – fonte [62]	39
Figura 46 – MIMA House Interior– fonte [65]	39
Figura 47 – Ilustração Esquemática para um WC – fonte [64]	40
Figura 48 – Planta exemplo de uma casa MIMO – fonte [41].....	41
Figura 49 – Elementos Construtivos – fonte [66]	42
Figura 50 – Processo Construtivo – fonte [67].....	42
Figura 51 – Diferenças entre TreeHouse e MIMA Housing – fonte [41]	43
Figuras 52 e 53 – Casa Custom – fonte [72]	44
Figuras 54 e 55 – Casa Base – fonte [71].....	44
Figura 56 e 57 – Linha Nomad – fonte [69] e [70] respectivamente.	45
Figura 58– Linha Mobile – fonte [73].....	45
Figura 59 – Linha Nórdico – fonte [75].....	46
Figura 60 – Linha Tropical – fonte [75].....	47
Figura 61 – Linha Europeia – fonte [75].....	47
Figura 62 –Exemplos de Parede Externa e Interna no Sistema Nórdico – fonte [75]	48
Figura 63 – Ideia representada como Lâmpada – fonte [77]	50
Figura 64 – Conceito Arquitetônico (recortado), fonte [78]	51
Figura 65 – Recorte de uma secção do módulo, respeitando as alturas RGEU. Autoria própria.	53
Figura 66 – Dimensões de cada Módulo em milímetros. Autoria própria.	54
Figura 67 – Exemplo MLC de Abeto, fonte [80]	55
Figura 68 – Imagem do protótipo da habitação em um software BIM. Autoria própria.....	56
Figura 69 – 3D das Fundações com as diferentes vigas lintéis e corte com as grelhas de ventilação (dimensões em mm). Autoria própria.	57
Figura 70 – Imagem da planta das lajes inferiores da habitação (dimensões em mm). Autoria própria.	58
Figura 71 – Imagem 3D e corte das lajes inferiores da habitação (dimensões em mm). Autoria própria.	60
Figura 72 – Imagem 3D e plantas das lajes superiores da habitação (dimensões em mm). Autoria própria.	61
Figura 73 – Imagem da planta com posicionamento dos pilares. Autoria própria.	62

Figura 74 – Imagem da planta e corte com posicionamento das vigas (dimensões em mm). Autoria própria.	63
Figura 75 – Imagem em planta de uma região com os painéis da fachada (dimensões em mm). Autoria própria.	65
Figura 76 – Imagem em alçado com os painéis da fachada (dimensões em mm). Autoria própria.	66
Figura 77 – Imagem em planta de um tipo de painel da fachada, com dimensões do Viroc (mm). Autoria própria.	67
Figura 78 – Imagem corte de um tipo de painel da fachada, com os perfis de remate da lâ de rocha (dimensões em mm). Autoria própria.	68
Figura 79 – Imagem de um alçado da habitação, com os diferentes painéis (dimensões em mm). Autoria própria.	69
Figura 80 – Imagem em planta de parte da habitação, com paredes internas (dimensões em mm). Autoria própria.	70
Figura 81 – Parede interna na região da TV (dimensões em mm). Autoria própria.	71
Figura 82 - Lã de rocha em rolo, que pode ser usado nas paredes internas – Fonte [80].....	71
Figura 83 - 3D da cobertura, calha metálica em rosa e telas de PVC no sentido longitudinal. Autoria própria.	72
Figura 84 – Planta de Cobertura, com telas de PVC (dimensões em mm). Autoria própria.	74
Figura 85 – Pormenor de Cobertura, em região de calha (acima) e painel lateral (abaixo) (dimensões em mm). Autoria própria.....	75
Figura 86 – Planta da habitação, no qual possível verificar instalação do revestimento flutuante. Autoria própria.	76
Figura 87 – Planta da habitação, no qual possível verificar layout interno. Autoria própria.	77
Figura 88 – Axometrias do projeto, no qual possível verificar layout interno. Autoria própria.	78
Figura 89 – Axometria da implantação do projeto, com disposições das habitações. Autoria própria.	79
Figura 90 – Planta, com disposições dos módulos secos e molhado. Autoria própria.....	80
Figura 91 – Planta, com disposições da rede de distribuição de água. Autoria própria.	83
Figura 92 – Planta e corte com disposições da rede drenagem dos esgotos. Autoria própria.	85
Figura 93 – Planta recortada com disposições da rede drenagem pluvial. Autoria própria.	86

SÍMBOLOS E ABREVEATURAS

MLC – Madeira Lamelada Colada

GLULAM – “Glued Laminated Timber” (Madeira Lamelada Colada)

BIM – “Building Information Modeling” (Modelagem da Informação da Construção)

ITED – Infraestruturas de Telecomunicações em Edifícios

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

RGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas

OSB – “Oriented Strand Board” (Placa de Aglomerado de Fibras Orientadas)

MDF – “Medium-Density Fiberboard” (Placa de Fibra de Média Densidade)

CLT – “Cross-Laminated Timber” (Madeira Laminada Cruzada)

LCA – “Life Cycle Assessment” Avaliação do Ciclo de Vida

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAD – “Computer-Aided Design” (Projeto Auxiliado por Computador)

CE – “Conformité Européene” (Conformidade Europeia)

PVC – “Polyvinyl Chloride” (Policloreto de Vinila)

1

INTRODUÇÃO

1.1 OBJETO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO

O objeto deste estudo consiste em desenvolver um módulo 3D com estrutura de madeira laminada colada (MLC) de abeto vermelho, utilizando elementos construtivos pré-fabricados montados em fábrica para a maioria das partes da construção. A ênfase principal deste projeto é reduzir os custos e proporcionar um espaço habitável para pessoas que não possuem acesso a recursos financeiros elevados.

A pesquisa bibliográfica teve dois objetivos principais na pesquisa dos seus artigos. O primeiro objetivo é apresentar os conceitos gerais, características, vantagens e desvantagens da construção modular, além de demonstrar maneiras de diminuir os custos desse método construtivo. Essa pesquisa é justificada pela necessidade de encontrar soluções mais acessíveis para a construção de moradias em Portugal.

Já o segundo objetivo da pesquisa é analisar como o conceito de BIM (Building Information Modeling) pode melhorar a eficiência da construção modular. O BIM é uma tecnologia que permite a integração das informações sobre todo o ciclo de vida do projeto, desde o projeto inicial até à manutenção e a operação do edifício.

A demanda crescente de habitações para moradia e aluguer a preços acessíveis em diversas regiões de Portugal, principalmente nas grandes cidades, é uma motivação importante para o desenvolvimento desta dissertação. Além de atender às demandas por moradias acessíveis, pretende-se desenvolver uma moradia com alta qualidade de vida, com valores arquitetónicos incorporados ao projeto, podendo mesclar o melhor que há entre a arquitetura e as diversas engenharias.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal dessa pesquisa é fazer um módulo 3D de baixo custo, baseada numa estrutura em MLC de abeto, usando um sistema estrutural e construtivo do tipo *timber frame*, para ser executado em fábrica na maior parte do processo, incluindo divisões externas e internas, lajes, coberturas, revestimentos, sistemas de AVAC e demais especialidades.

Para complementar, pretendeu-se desenvolver o projeto com um elevado detalhe construtivo, incluindo plantas, cortes, detalhes, isometrias, alçados para cada etapa da construção, incluindo desenhos das ligações entre as peças, a fim de evitar desperdícios de materiais.

Além do objetivo principal, os objetivos secundários desta pesquisa incluem mostrar a importância da integração do BIM com o processo construtivo e sugerir atuais desenvolvimentos futuros sobre a sustentabilidade e interesse técnico e económico da construção modular em madeira.

A utilização do BIM é boa para otimização do processo construtivo. É explorada a forma como o BIM pode ser utilizado para criar um modelo virtual do módulo 3D, permitindo a visualização detalhada do projeto e a detecção de possíveis problemas antes mesmo do início da construção.

Além disso, são apresentados desenvolvimentos atuais e futuros sobre a sustentabilidade da construção modular em MLC. Discute-se como a construção modular pode contribuir para reduzir o impacto ambiental da construção de moradias e ajudar a promover um desenvolvimento mais sustentável.

1.3 ETAPAS DO TRABALHO DESENVOLVIDO

A primeira etapa foi realizada através de uma ampla pesquisa bibliográfica sobre o tema da construção modular de baixo custo em madeira. Essa pesquisa teve como objetivo principal criar uma base científica sólida para a fundamentação do projeto, com base em exemplos e testemunhos de obras existentes bem como de normas europeias e portuguesas aplicáveis.

Para isso, foram consultados diversos artigos científicos, livros e publicações na web sobre o tema, além de normas e regulamentos de caráter geral aplicáveis à construção em Portugal, tais como o RGEU.

Foram identificados os principais desafios e oportunidades associados à construção modular em madeira, bem como as melhores práticas e tecnologias disponíveis para alcançar um produto sustentável e acessível. Além disso, a pesquisa também teve como objetivo identificar alguns exemplos de construtoras e escritórios que já utilizam essa metodologia, a fim de complementar a base teórica e trazer exemplos práticos para o projeto em questão.

Dessas premissas, foi possível estabelecer uma base sólida de conhecimento para o desenvolvimento do projeto, garantindo que todas as etapas seriam realizadas com base nas melhores práticas disponíveis e seguindo os requisitos normativos aplicáveis.

Além disso, a consulta de exemplos práticos foi fundamental para entender as particularidades da construção modular em madeira e identificar possíveis soluções para os desafios deste projeto.

O primeiro setor do desenvolvimento do projeto está ligado às normas, leis e regulamentos a serem cumpridos para que o módulo construtivo possa atender aos requisitos legais mínimos. Nessa etapa, foi necessário estudar e analisar o RGEU, e as normas técnicas que regem em Portugal.

O segundo setor do projeto é a solução e montagem da estrutura principal do módulo. Nessa etapa, foi preciso projetar a estrutura em MLC de abeto com sistema de timber frame, que será montada em fábrica. Os materiais a serem utilizados e os métodos de montagem foram estudados levando em consideração a resistência e estabilidade da construção, a modularidade e dimensões disponíveis bem como também a facilidade de montagem e transporte, conceito essencial em processos de pré-fabricação.

A terceira e última parte do desenvolvimento do projeto, consiste nos complementos do módulo, que são nos acabamentos, revestimentos, instalações elétricas e hidráulicas, entre outros aspectos. Nessa etapa, são elaborados desenhos, esquemas e pormenores construtivos para a montagem dos complementos do módulo.

Como a viabilidade financeira do projeto é de suma importância, a elaboração de um mapa de quantidades e custos a partir da modelagem da informação é possível com o uso do software Revit.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se organizada em 5 capítulos.

No primeiro capítulo relativo à introdução descrevem-se de forma sucinta o objeto de estudo, que consiste no desenvolvimento de um módulo habitacional de baixo custo, o âmbito do projeto que abrange a pesquisa bibliográfica sobre o tema, a justificativa para o projeto, devido à demanda crescente de habitações e os objetivos, a criação do protótipo e a reflexão sobre a sua viabilidade.

Já o capítulo seguinte, relativo ao estado da arte, este apresenta a pesquisa bibliográfica em duas áreas principais: as soluções de construções modulares de baixo custo e o uso do Building Information Modeling (BIM) no processo construtivo.

Na primeira área, são apresentadas as metodologias utilizadas para a construção de habitações modulares, em especial aquelas que usam a madeira como material principal. Já na segunda vertente, apresenta-se o BIM e reflete-se sobre a forma como este pode ser usado na conceção, execução e exploração e uso de moradias de baixo custo em madeira.

No capítulo 03 são apresentadas as soluções existentes para a construção modular de baixo custo em madeira, destacando as suas características. São explorados exemplos de construtoras que já usam essa metodologia construtiva, bem como projetos realizados em Portugal. Além disso, são analisadas normas e regulamentos aplicáveis a este tipo de construção.

No capítulo 04 é feita a descrição da Protótipo Desenvolvido, abrangendo a estrutura modular em madeira, a solução de montagem, os complementos e as especificações técnicas utilizadas no projeto. São mostrados desenhos, esquemas e pormenores construtivos para representar e explicar cada etapa do processo construtivo do módulo 3D, bem como a utilização do BIM como ferramenta fundamental para o desenvolvimento do projeto. Além disso, apresentam-se outros projetos desenvolvidos tais como os projetos hidráulicos e desenhos como a rede de distribuição de água, drenagem de esgotos, e pluviais.

O capítulo 05 apresenta as conclusões, destacando a importância da construção modular de baixo custo em madeira e como essa solução pode contribuir para o desenvolvimento do mercado da habitação mais económica. Salientam-se os objetivos atingidos e futuros, refletindo-se sobretudo sobre formas de tornar o módulo concebido mais eficiente e integrado.

Identificar oportunidades para futuros aprimoramentos e soluções para a construção modular em madeira é importante para o desenvolvimento científico por novas soluções para os desafios da construção civil, e como esse trabalho contribui para o avanço do conhecimento da construção modular em madeira. Tal é feito muito genericamente no capítulo de conclusão.

2

ESTADO DA ARTE

2.1 MADEIRA

2.1.1 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO GERAL

Desde o início da história humana, a madeira tem sido um material utilizado para a construção de abrigos, objetos e produtos. Inicialmente, as estruturas em madeira foram simples, e eram compostas por ramos e troncos amarrados e cobertos com materiais orgânicos para proteger contra os elementos naturais (figura 01). Com o tempo, a técnica e a arte de trabalhar a madeira melhoraram, dando origem a uma indústria moderna que utiliza técnicas e maneiras avançadas para moldar a madeira em formas complexas e funcionais. [1]



Figura 01 – Abrigo pré-histórico, fonte [03]

O uso da madeira foi variando de acordo com as características e necessidades das civilizações, pois existem fatores que influenciam a escolha dos métodos de construção em madeira. Entre esses fatores estão o clima, e a evolução das técnicas de construção, que atendem às necessidades de cada comunidade em questão. Assim sendo, o uso da madeira na construção pode ser considerado como um reflexo das particularidades culturais e das condições ambientais de cada sociedade ao longo da história. Na pré-história, as tribos primitivas construíam abrigos utilizando materiais disponíveis na região, como ramos, canas, folhas e argila (figura 02).



Figura 02 – Hórreo em Somiedo, fonte [03]

A madeira era utilizada para a construção de palafitas ou habitações lacustres em regiões pantanosas. Na Idade Antiga, a arquitetura era influenciada pelas primeiras civilizações, como os mesopotâmicos, que utilizavam principalmente adobe e vigas de madeira para construir casas de planta circular ou quadrada.

No Egito, as principais construções eram feitas de pedra e argila, enquanto na Noruega e na Escandinávia, as casas de madeira eram construídas com troncos dispostos horizontal ou verticalmente. Com o passar dos séculos, houve uma evolução nas técnicas e materiais utilizados na construção, chegando aos dias atuais com a utilização de técnicas e materiais mais modernos e sustentáveis. [3]

O pau-a-pique era o método construtivo mais comum na península ibérica e nas colônias latino-americanas, que consistia em um esqueleto de madeira coberto com barro, argila e areia. Nas casas das famílias mais pobres, a mistura foi trocada pela alvenaria no século XVIII e pelo betão no século XIX (figura 03). [4]

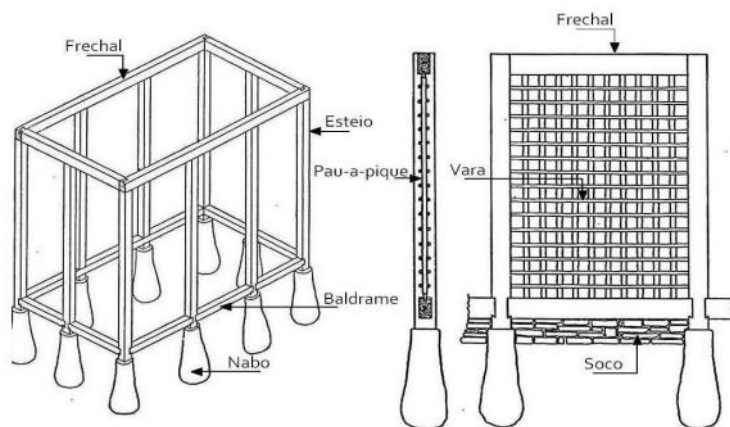


Figura 03 – Estrutura de Pau-a-pique, fonte [04]

No início do século XX em Portugal, a falta de alojamento nas grandes cidades fez com que houvesse habitações pré-fabricadas em madeira devido ao baixo custo e rapidez de execução. No entanto, a madeira foi vista como um material temporário, frágil e de baixa qualidade. Nos dias de hoje, a madeira é reabilitada como um material principal de construção devido a questões de sustentabilidade e económicas.

Países como os Estados Unidos, Japão e Países Nórdicos possuem uma grande tradição na construção de casas em madeira, demonstrando a qualidade deste tipo de construção. [5]

2.1.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MADEIRA

As árvores crescem consoante a sua espécie, clima, solo e exposição. A madeira tem estruturas fibrosas e é heterogênea e anisotrópica, o que significa que suas propriedades variam de acordo com as direções transversal, tangencial e radial. Para tornar a madeira mais homogênea, ela passa por alguns processos de transformação para ficar mais adequada à construção.

A madeira é dividida em dois grupos: endógenas e exógenas. No primeiro, o desenvolvimento do tronco ocorre de dentro para fora, como nas palmeiras e bambus, e é pouco utilizada na construção. Já no segundo, o crescimento do caule ocorre de fora para dentro, com a soma de camadas em forma de anel, chamados anéis anuais de crescimento, e é amplamente utilizado como material de construção.

As espécies de madeira podem ser classificadas em gimnospermas e angiospermas. Nas gimnospermas, ela é mais macia, enquanto nas angiospermas, a madeira é mais dura.

É bom ter conhecimento sobre a durabilidade e características físicas e mecânicas da madeira, escolhendo a madeira certa para cada lugar. Lenho é uma parte da árvore utilizada como material de construção, sendo o tronco composto por diferentes camadas de crescimento no tronco da árvore (figura 04). [06]

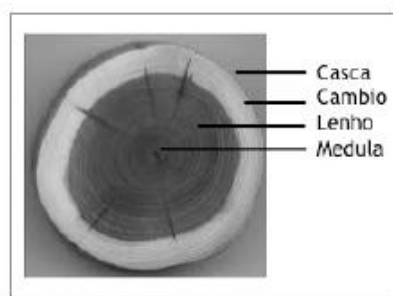


Figura 04 – Estrutura interna do tronco, fonte [06].

A durabilidade da madeira varia dependendo da espécie, idade e origem do lenho. Quanto à variação, as madeiras podem ser classificadas como: altamente resistentes e muito duráveis; moderadamente resistentes e duráveis; pouco resistentes ou não duráveis. Em outras palavras, a durabilidade da madeira é uma propriedade que varia de acordo com a espécie e pode ser classificada em diferentes categorias de resistência. [6]

As madeiras que provêm de árvores cultivadas em Portugal, de acordo com sua resistência, podem ser sinteticamente caracterizadas de acordo com a figura 05 a seguir.

RESISTENTES	MODERADAMENTE RESISTENTES	POUCO RESISTENTES
Zimbro	Carvalho	Choupo
Sequoia	Castanho	Vidoeira
Tuia	Azinho	Sicômoro
Libo cedro	Pseudotsuga	Pinho
Oliveira	Acácia austrália	Eucalipto
	Plátano	Cerejeira
	Freixo	Espruce
	Criptoméria	
	Cipreste	
	Comecipar	
	Eucalipto de cerne rosa e negro	
	Nogueira	

Figura 05 – Resistência mecânica das espécies, fonte [06].

2.1.3 TIPOS DE MADEIRA E SEUS DERIVADOS PARA CONSTRUÇÃO

A madeira é amplamente utilizada na construção devido às suas características únicas, como propriedades mecânicas e físicas. Com o surgimento dos derivados de madeira, novas formas e

dimensões de peças de madeira foram obtidas, melhorando ainda mais as suas características. Existem dois grupos principais de madeira utilizados na construção civil: a madeira maciça e seus derivados.

2.1.3.1 Madeira Maciça

A madeira maciça é a madeira diretamente feita dos troncos das árvores e não passa por nenhum processo de colagem. Podem ser divididas em redonda ou madeira serrada. A madeira redonda é utilizada em aplicações como postes, estacas e tem entre 15 e 25 cm de diâmetro. Já a madeira serrada, que é mais utilizada na construção, tem um comprimento máximo de 6m a 8m, e é aplicada em vigas, pranchas e tábuas, porém apresenta limitações quanto à sua secção transversal e comprimento. (figura 06). [7]



Figura 06 – Durabilidade as espécies, fonte [05].

2.1.3.2 Contraplacado

As placas de contraplacado, tornaram-se amplamente utilizadas em construções como elemento estrutural. Essas placas são boas para a estabilização das construções, como por exemplo o seu uso em diafragmas nas paredes, pisos e coberturas, eliminando a necessidade de peças diagonais para estabilizar a estrutura.

Essas são produzidas pela colagem de várias folhas de madeira, com as fibras da madeira perpendicularmente orientadas em relação à folha adjacente. Isso cria um material com propriedades mecânicas uniformes em todas as direções da placa. A cola utilizada é geralmente resina fenólica ou de resorcina. As placas de contraplacado são mais estáveis e resistentes à flexão do que a madeira maciça, devido à sua construção em camadas com fibras perpendiculares. Elas são compostas por três elementos: folha (revestimento das placas), alma (parte interna da placa, mais espessa do que as folhas de revestimento) e cola (elemento de fixação entre as diferentes folhas). [8]

A Normativa Europeia EN 636, classifica os contraplacados em três categorias diferentes: Classe 1 para uso em ambientes secos, Classe 2 para uso em ambientes úmidos (como durante a fase de construção) e Classe 3 para uso em ambientes externos com exposição às intempéries.

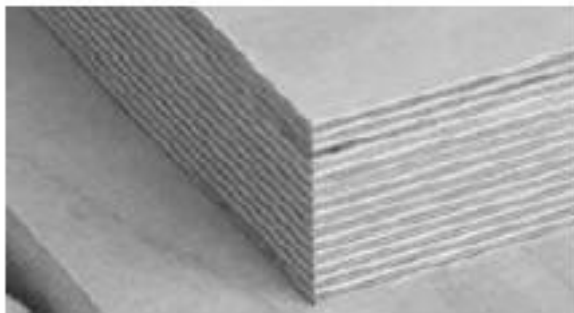


Figura 06 – Contraplacado, fonte [05].

2.1.3.3 Aglomerado de Partículas de Madeira Longas e Orientadas (OSB)

Os painéis de OSB (Oriented Strand Board) ou Aglomerado de Partículas de Madeira Longas e Orientadas é constituído por lascas de madeira retangulares de 5 a 50 mm de largura por 50 a 75 mm de comprimento e 0,5 mm de espessura. Possuem três camadas, com as lascas das camadas exteriores alinhadas paralelamente ao comprimento da placa e as da camada intermediária dispostas aleatoriamente. Os OSB são definidos na norma NP EN300:2002.

Usado de maneira correta, apresenta grande durabilidade e mantém seus níveis de desempenho ao longo de sua vida útil. Como é feito exclusivamente de madeira de pequenas dimensões e de florestas gerenciadas de forma sustentável, o OSB tem um impacto ambiental reduzido e é totalmente reciclável. [09]

O OSB é considerado um dos produtos mais revolucionários na indústria de derivados de madeira, amplamente utilizado na construção civil devido às suas excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico.[10]



Figura 07 – OSB, fonte [11].

2.1.3.4 Aglomerado de Fibras de Madeira (MDF)

Os aglomerados de fibras de média densidade (MDF) são fabricados a partir de fibras de madeira fragmentadas misturadas com uma resina, usando um processo da termodinâmica. As superfícies são mais lisas e permitem a aplicação direta de revestimentos. O MDF é resistente ao fogo e à umidade, tornando-se popular em pavimentos e na construção de móveis. A norma EN 622 define as exigências mínimas para cada tipo de utilização dos aglomerados de fibras de madeira. [8]



Figura 08 – MDF, fonte [12].

2.1.3.5 Madeira Lamelada Colada (MLC)

A madeira lamelada colada (MLC) é constituída por camadas de placas de madeira empilhadas transversalmente e coladas entre si nas faces adjacentes. Na Europa e em Portugal são utilizadas como uma alternativa à madeira maciça, aço e betão armado em grandes naves industriais. Ela apresenta elevada resistência ao fogo e um bom comportamento face à ação de fumos e emissões corrosivas de produtos químicos. Os elementos de madeira lamelada dispõem-se vertical e horizontalmente, sendo a disposição horizontal a mais utilizada. A madeira laminada colada é seca numa estufa e as camadas de madeira são coladas ortogonalmente. [13]

Comparando com as estruturas de madeira maciça, a MLC exige um menor número de ligações e permite a conceção de peças de grandes dimensões, não limitadas pelas dimensões e geometria dos troncos. Para complementar a MLC pode ser pré-fabricada, o que racionaliza a construção e reduz o tempo de montagem em obra, além de garantir leveza à estrutura. A MLC apresenta maior homogeneidade, estabilidade dimensional e ausência de defeitos em comparação com a madeira maciça, e é classificada com base em resistências de acordo com a norma NP EN 1194:2002.

2.1.3.6 Madeira Laminada Cruzada (CLT)

Os painéis de madeira laminada cruzada (CLT) são um material construtivo que apresenta diversas vantagens em relação a outros materiais tradicionais. A sua elaboração feita de lamelas de madeira coladas permite obter uma estrutura muito homogênea e estável, capaz de suportar grandes cargas e vãos, ver figura 09. Bastante versáteis, permitem diversos tipos de revestimento e acabamento, e são sustentáveis. Por estas razões, o uso de CLT tem vindo a crescer em diversos países, tanto em edifícios residenciais como em grandes estruturas públicas ou comerciais.[8]

A norma europeia para o CLT na construção é a EN 16351:2015 - "Produtos estruturais de madeira laminada cruzada (CLT) - Requisitos". Esta norma estabelece as características técnicas e de desempenho para o CLT utilizado em aplicações estruturais na construção civil.



Figura 09 – CLT, fonte [14].

2.1.4 VANTAGENS DO USO DA MADEIRA

2.1.4.1 Estabilidade

A madeira é um material estrutural natural que possui algumas vantagens, como peso leve, capacidade de carga e bom comportamento em relação à flexão. A tração axial é a característica com maior potencial de utilização para fins estruturais que a madeira pode oferecer. Em comparação com outros materiais como o aço e o betão, a madeira não precisa passar por processos de transformação que exijam muito gasto energético.[15]

As estruturas apresentam um bom comportamento em relação às ações sísmicas, no entanto, podem ter um comportamento mais fraco nas zonas de ligação entre peças, devido aos defeitos naturais que este material apresenta, como nós e fendas. As uniões metálicas, como tipo cavilha (pregos, parafusos, etc.), podem aguentar grandes deformações plásticas, dissipando assim a energia liberada durante o sismo.[16]



Figura 10 – Estrutura em Madeira, fonte [28]

O vento é relevante nas estruturas de madeira, pois elas têm um peso próprio menor em comparação com outros materiais. Por isso, para garantir a estabilidade da estrutura, é necessário unir adequadamente, assim como em estruturas metálicas, introduzindo contraventamentos para poder fazer a transferência das cargas até o solo. [17]

2.1.4.2 Sustentabilidade e Impacto Ambiental

A sustentabilidade na construção está relacionada com soluções que possuem o desempenho energético-ambiental melhorado em relação a construções existentes tradicionais. Vários países estão demonstrando grande preocupação em setores de atividade mais atuais tais como a reciclagem, e o impacto ambiental da construção na Natureza envolvente.

A madeira é um dos materiais mais ecológicos que existe, sendo o único natural e regenerável o que determinou que diversos tipos de madeiras e dos respetivos derivados fossem implementados no setor da construção, sobretudo a partir de 1970. [16]

Com a escolha de materiais sustentáveis, como a madeira, no lugar do betão e estruturas metálicas, que emitem mais dióxido de carbono e poluentes no ar e água, além de produzirem mais resíduos sólidos o mundo acaba sendo menos impactado. Quando escolhemos materiais sustentáveis na construção, podemos reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa e contribuir para a preservação do meio ambiente. [17]

O Life Cycle Assessment (LCA) é utilizado para avaliar o impacto ambiental gerado por um edifício, levando em consideração as fases de produção, utilização e fim de vida. De acordo com o LCA, edifícios construídos em madeira têm menor impacto ambiental do que aqueles construídos em betão e metal de maneira geral.

A madeira precisa de uma quantidade quatro vezes menor de energia do que o betão, 60 vezes menos energia do que o aço e 250 vezes menos energia do que o alumínio. Para somar a estas questões, a madeira emite menos gases com efeito de estufa, gera menos resíduos sólidos, gera menos poluentes no ar e na água e maior facilidade com relação ao transporte de betão. [18]

As florestas sustentáveis são uma boa estratégia para promover a criação de empregos e aumentar os rendimentos das áreas rurais. A florestação também permite a melhor controle das bacias hidrográficas, a proteção da vida selvagem, fauna e flora. [19]

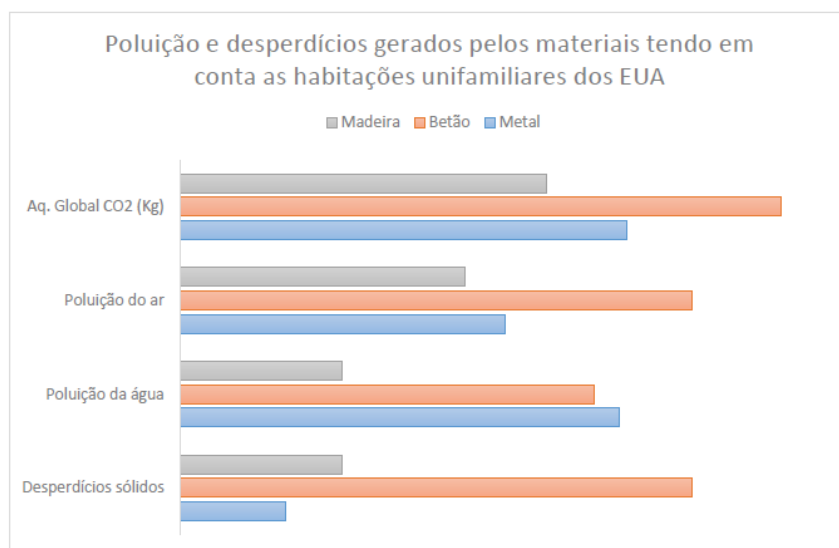


Figura 11 – Poluição e desperdícios gerados pelos materiais, fonte [08].

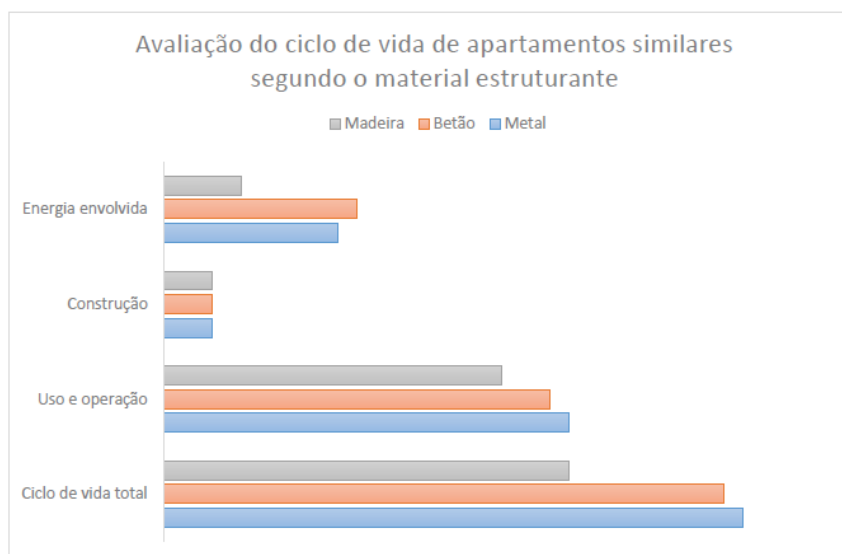


Figura 12 – Avaliação do Ciclo de Vida, fonte [08].

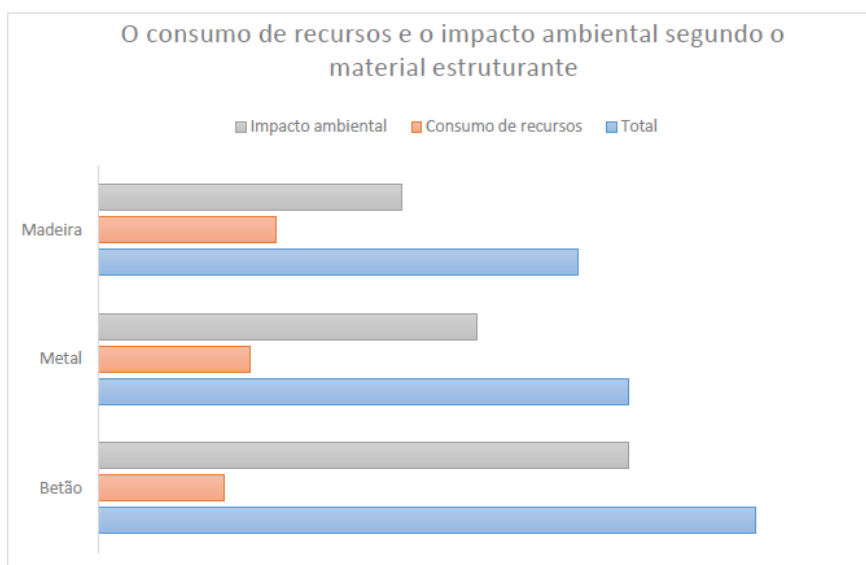


Figura 13 – Consumo de Recursos, fonte [08].

2.1.4.3 Custo, Eficiência e Tempo de Construção

A madeira permite uma redução de custos nas construções comparadas com outros materiais tradicionais. Na fase de preparação do material, a madeira resulta no menor dispêndio de energia de produção e, na fase de construção, a madeira é mais barata comparada ao metal, poupando cerca de 14% nos custos de construção. [19]

Com as características que a tornam adequada para a prefabricação, que é um processo de construção em que os elementos estruturais são fabricados fora do local de construção e, em seguida, transportados e montados no local, diminui-se o tempo da obra.

A prefabricação em madeira acaba por oferecer uma série de vantagens em relação aos métodos de construção tradicionais, como a redução de tempo e custo de construção, maior qualidade e finalização do acabamento. [20]

Para melhorar o tempo de construção, menor em comparação com as construções tradicionais em alvenaria de tijolo, ela apresenta facilidade no manuseio e transporte. A construção é seca, sem argamassas, o que elimina o tempo de espera para secagem do material. Estudos mostram que a prefabricação pode reduzir mais de 2/3 do tempo de construção. [16]

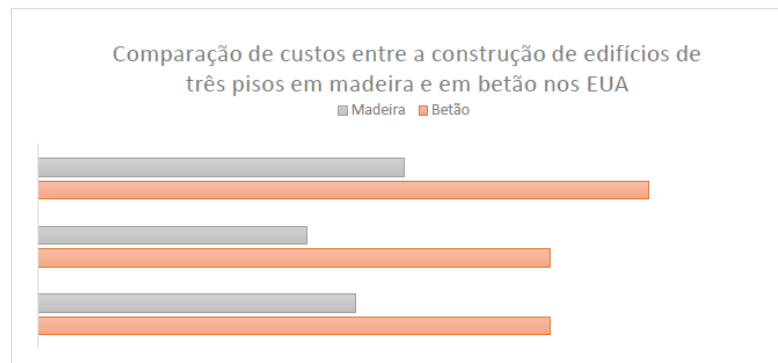


Figura 14 – Comparação de custos de Construção, fonte [08].

2.1.4.4 Comportamento Térmico

Graças às bolhas de ar presentes em sua estrutura celular, o que limita a condução de calor, ela passa a ter um bom comportamento térmico, dessa maneira ela atinge valores de isolamento térmico mínimos necessários com facilidade.

Além disso, quando se fala em valores de difusividade e efusividade, ela é muito boa também, o que proporciona maior conforto térmico ao toque e reduz a sensação de choque térmico. A condutividade térmica da madeira é muito baixa em comparação com o tijolo e o betão, o que a torna um material com excelentes propriedades térmicas. [16]



Figura 15 – Isolante Térmico em Parede de Madeira, fonte [29].

2.1.4.5 Segurança Contra Incêndios

Apesar de ser um material inflamável, a madeira tem um comportamento melhor aos incêndios do que o metal e o concreto. Quando ela é exposta ao fogo, a madeira forma uma camada de carvão na superfície, que atua como isolante e impede a rápida propagação do fogo. Isso reduz não só a curva de aquecimento e degradação do material mas também melhora a capacidade de suportar cargas e permitindo tempo suficiente para evacuar o prédio em chamas.[16]

Diferentemente do metal e do concreto, quando exposta ao fogo, a madeira reduz gradualmente sua seção sem perder sua função estrutural, já que o metal perde muito rapidamente resistência e rigidez e o concreto armado fragmenta-se mais rapidamente.

Como a madeira não oxida, ela também acaba por ter um comportamento melhor em altas temperaturas em comparação com o concreto e o metal. Mesmo que uma viga de madeira e uma viga de concreto armado do mesmo volume tenham a mesma resistência, a viga de madeira é cinco vezes mais leve. E uma viga de madeira e uma de aço com o mesmo peso têm o mesmo poder de resistência.

Para retardar a ação do fogo na madeira, é possível impregná-la com sais químicos que reduzem sua combustibilidade ou aplicar uma pintura ignífuga. Os produtos ignífugos têm como objetivo retardar a combustão e podem ser aplicados por impregnação ou recobrimento.

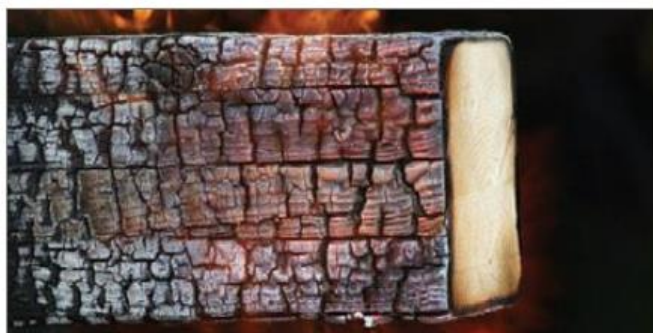


Figura 16 – Viga de MLC após teste de resistência ao fogo, fonte [08].

O processo de impregnação usa sais que aumentam a carbonização e reduzem a formação de gases, mas pode tornar o material corrosivo e tem um alto custo. Já o recobrimento consiste em aplicar uma camada na superfície da madeira para retardar a combustão e impedir que atinja a temperatura de ignição. Isso reduz a probabilidade de alastramento das chamas em até 75% e pode ser aplicado em edifícios já existentes. [21]

2.1.4.6 Durabilidade

As construções em madeira são duráveis, se forem desenhadas e executadas corretamente, tendo em conta as condições do local em que for construída. Exemplos como o de edifícios em madeira com dezenas e até mesmo centenas de anos de existência, como a igreja em madeira vertical de Urnes, na Noruega, e os Pagodes japoneses de Doigo-ji e do Mosteiro Búdico de Horyu-ji. [22]

As novas construções em madeira também podem ser muito duráveis, com muitas habitações norte-americanas e europeias com mais de um século de idade. A durabilidade da madeira pode ser melhorada e aumentada com tratamentos adequados, e algumas empresas de construção em madeira garantem durabilidades de até 100 anos, o que é de grande relevância ao se comparar com os sistemas de construção tradicionais, que têm uma durabilidade média de 50 anos. [16]

É importante proteger a madeira da umidade excessiva, o que pode ser feito com estratégias como o uso de coberturas inclinadas em áreas chuvosas junto com telas impermeabilizantes. Para diminuir o apodrecimento da madeira é necessário um projeto que pense nos pontos de condensação de água, a aplicar impermeabilizantes nas ligações como um todo, mantendo a madeira elevada do solo e proporcionando ventilação livre entre o soalho e o solo e entre o forro e a cobertura. [23]

A manutenção regular, pode ser feita pelo proprietário sem grandes custos. Os edifícios em madeira podem ser reciclados ou transformados em combustível após o fim do ciclo de vida útil do edifício. A manutenção de edifícios prefabricados de madeira é geralmente feita a cada 3 ou 4 anos com jatos de água e nova camada de acabamento. [19]

2.1.5 ESTRUTURAS EM MADEIRA

2.1.5.1. Estruturas em Madeiras Pesadas

Os sistemas de estrutura de madeira pesada são utilizados na construção de edifícios em madeira que necessitam de suportar cargas elevadas. Estes sistemas são compostos por elementos de madeira maciça, geralmente de grandes dimensões, que proporcionam estabilidade e resistência à estrutura. As estruturas em madeira pesada são uma evolução das antigas casas de troncos, e foram desenvolvidas para maximizar a resistência da madeira, colocando as peças paralelas às fibras e combinando-as com outros materiais para formar estruturas mistas. [24]

O sistema porticado, também conhecido como post & beam, é caracterizado pela utilização de pilares verticais de madeira (os posts) que suportam vigas horizontais (as beams). Estes elementos estruturais são unidos por meio de encaixes e conexões metálicas, formando uma estrutura de suporte rígida e resistente. As paredes que não têm função estrutural, podendo ser construídas com outros materiais.

Geralmente, esse sistema utiliza madeira maciça ou lamelada-colada como material de construção. [25]

Já o sistema entramado (*timber frame*) consiste na utilização de uma estrutura de madeira composta por vigas horizontais e verticais que se cruzam, formando um entramado ou treliça. As paredes e os pisos são então preenchidos com painéis de madeira, formando uma estrutura autoportante. A conexão dos elementos é feita através de encaixes e cavilhas de madeira, sem a necessidade de pregos ou parafusos. [8]



Figura 17 – Timber Frame, fonte [30].

2.1.5.2. Estruturas Leves em Madeira

As estruturas do tipo "Light Framing" surgiram na América do Norte, com a disponibilidade de madeira serrada padronizada, elementos de ligação metálicos, como pregos, e carência de um sistema construtivo rápido.

Evoluíram a partir da estrutura anterior de madeira pesada, com a introdução de muros e lajes com função estrutural, o que fez com que ficasse parecido com as estruturas em betão armado laminares. O uso de novos componentes fez a redução da largura dos elementos, distribuindo a carga por um maior número de elementos. [18]

As estruturas do tipo "Balloon Framing" constituem uma das primeiras soluções construtivas em madeira leve., criada em torno de 1830. Foi caracterizado pela utilização de elementos em madeira de pequena esquadria, separados entre si, e que se estendem por até dois andares de altura. Portanto as fachadas são montantes contínuos, enquanto o piso é apoiado na viga mestra.

Infelizmente, o método apresenta desvantagens, por exemplo, a falta da resistência dos elementos verticais pois são compridos e passam por mais de um piso, e a falta de segurança contra incêndios, uma vez que a estrutura contínua pode facilitar a propagação do fogo. Com grandes tamanhos é preciso grandes equipamentos e o transporte dos componentes para a obra é dificultado. [26]

A construção em plataforma é um método que surgiu com a evolução do "Balloon Framing". Com um sistema caracterizado pela realização piso por piso, com um máximo de 3 andares de altura, e é feito por placas duplas de madeira sobre as quais se coloca o acabamento nos dois lados.

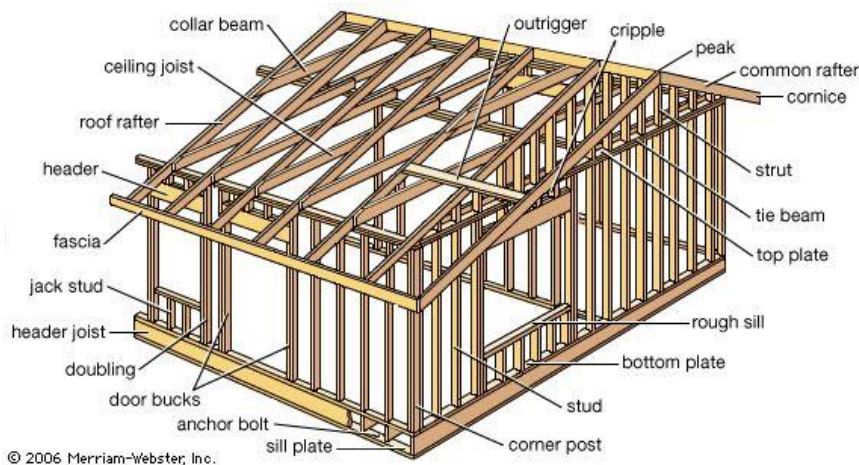


Figura 18 – Light Frame, fonte [30].

Constitui o método mais usado nos Estados Unidos da América, representando cerca de 95% da construção em madeira na atualidade. As placas desse sistema fazem uma ligação favorável entre os diferentes componentes da estrutura e reduzem o risco de propagação de incêndio de um piso para os outros.

Além disso, com peças de dimensões mais reduzidas, o processo construtivo torna-se mais fácil ao nível do transporte e manuseamento, favorecendo a utilização de elementos prefabricados, em geral realizados off-site. [27]

2.2 CONSTRUÇÃO MODULAR

2.2.1 INTRODUÇÃO

A construção modular constitui uma metodologia de construção que envolve a fabricação de componentes individuais em uma fábrica ou local fora do local de construção. Os componentes são transportados para o local de construção, no qual são montados para formar a estrutura final. Esse método de construção é usado na construção de edifícios comerciais, residenciais e educacionais de forma constante nos dias de hoje.

Uma das principais vantagens da construção modular é a sua eficiência. Ao fabricar componentes em fábrica, a construção modular faz com que o processo de construção ocorra simultaneamente em duas ou mais etapas. Dessa maneira reduz o tempo necessário para concluir um projeto, o que pode resultar em economia significativa de tempo e dinheiro.

Complementando, a construção modular é frequentemente considerada uma opção mais sustentável do que a construção tradicional, pois a produção em massa em um ambiente controlado pode reduzir o desperdício e diminuir a pegada de carbono da construção. A construção modular é mais flexível em termos de design e personalização, permitindo que os clientes escolham entre uma ampla gama de opções de acabamento e configuração. [32]

2.2.2 DEFINIÇÕES

A construção modular é um método de construção onde os componentes individuais de uma estrutura são pré-fabricados em uma fábrica ou local fora do local de construção. Os componentes são projetados e produzidos em um ambiente controlado, seguindo especificações, para garantir a qualidade e uniformidade.

Esse conceito de construção modular é baseado em um sistema dimensional criado a partir de medidas-base que são aplicadas em um módulo já pré-definido, organizando e desenhando a estrutura através de uma malha. Como consequência, a construção modular permite uma maior eficiência no processo de construção, uma vez que as peças são montadas como um quebra-cabeça, seguindo um padrão preestabelecido. [6]



Figura 19 – Construção Modular em Fábrica, fonte [35].

Para entender melhor esse conceito, vamos adicionar as definições de alguns autores na área. Para Mascaró a Coordenação Modular é “um mecanismo de simplificação e inter-relação de grandezas e de

objetos diferentes de procedência distinta, que devem ser unidos entre si na etapa de construção (ou montagem), com mínimas modificações ou ajustes”. [33]

Já a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define-a como *“a aplicação específica do método industrial por meio da qual se estabelece uma dependência recíproca entre produtos básicos (componentes), intermediários de série e produtos finais (edifícios), mediante o uso de uma unidade de medida comum, representada pelo módulo”*. [82]

A definição que se pode declarar mais atual, sobre a Coordenação Modular é feita por Greven, que a define como, *“a ordenação dos espaços na construção civil”*. [34]

2.2.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA CONSTRUÇÃO MODULAR

A construção modular é uma técnica de construção que está ganhando cada vez mais espaço no mercado devido aos seus benefícios, tais como menos tempo e custo de construção, maior qualidade e maior flexibilidade de design, entre outras coisas.

No entanto, assim como qualquer método de construção, há também desvantagens a considerar. Neste contexto, é importante compreender tanto as vantagens quanto as desvantagens desta técnica de construção para tomar uma decisão informada sobre qual método é o mais adequado para ser usada em cada projeto concreto.[36]

Começando pelas vantagens, uma delas é a maior eficiência. A coordenação modular permite uma maior eficiência no processo de construtivo, uma vez que recorre a peças pré-fabricadas e montadas nas fábricas, partindo de um determinado padrão. Isso faz com que significativamente reduza o tempo e custo da construção em comparação com a construção tradicional. Outra coisa que podemos citar é a qualidade e uniformidade. A padronização dos componentes permite uma maior qualidade e uniformidade na construção, permitindo uma maior facilidade na manutenção futura.

Para finalizar as questões de vantagens podemos citar a personalização, que constitui uma maior flexibilidade quando falamos sobre o design, que permite com que os clientes escolham entre uma ampla gama de opções de acabamentos. E a sustentabilidade que surge porque a produção em ambiente controlado pode reduzir o desperdício de materiais e diminuir a pegada de carbono.

No lado das desvantagens podemos iniciar com as questões das limitações de tamanho e transporte. O método pode apresentar limitações com o tamanho das peças pré-fabricadas, o que pode limitar a altura e a largura dos edifícios construídos. O transporte também é outro fator, pois o transporte de peças pré-fabricadas até chegar ao local de construção pode ser um desafio, especialmente em áreas remotas ou com infraestrutura baixa, ver figura 20.



Figura 20 – Transporte de um módulo em caminhão, fonte [38].

Outras desvantagens importantes são o alto custo inicial e a necessidade de mão de obra especializada. Embora ofereça economias significativas de custo a longo prazo, o custo inicial de construção provavelmente é mais alto devido aos equipamentos, técnicas e materiais necessários para produzir os módulos. A necessidade de mão de obra especializada pode aumentar ainda mais os custos de construção, pois a necessidade de trabalhadores qualificados aumenta os custos unitários da mão-de-obra utilizada nos processos.

Uma última coisa a citar de desvantagem é a necessidade de um volume mínimo de compra. Isso ocorre pois vender, por exemplo, num dado negócio concreto, apenas um módulo pode não ser suficiente para pagar o custo de transporte e montagem, tornando o projeto inviável. [37]

2.2.4 COMPONENTES MODULARES

Os componentes modulares são elementos que constituem a construção modular, uma técnica de construção que está se tornando cada vez mais popular. Esses componentes são diferentes e cumprem papéis essenciais para a construção modular, permitindo que os projetos sejam feitos de maneira rápida, eficiente e com precisão.

Neste contexto, é importante saber o papel de cada um desses componentes para compreender como funciona a construção modular e suas vantagens em relação a outros métodos de construção, ver figura 21.

Módulo	Unidade básica, « 1M » equivale a distância padrão 10cm
Multimódulo	Múltiplo inteiro do módulo básico
Reticulado espacial de referência	Reticulado tridimensional formado por planos ortogonais, configura uma malha espacial com linhas dispostas em distâncias de um módulo (1M), nessa malha serão posicionados os componentes de construção.
Medida modular	Referente ao tamanho do módulo ou multimódulo, sempre valores inteiros.
Medida de projeto	Determina-se no projeto para qualquer componente da construção.
Zona neutra	Zona não modular que separa reticulados espaciais de referência.
Ajustes modulares	Relacionam as medidas de projeto com a medida modular.

Figura 21 – Componentes Modulares, fonte [39].

2.2.5 TIPOS DE CONSTRUÇÕES MODULARES

As construções modulares apresentam diferentes versões, cada uma com características e benefícios específicos. As construções modulares podem ser divididas com base no grau de conclusão dos módulos antes do transporte para o local de instalação. De acordo com o Instituto de Construção Modular americano, os edifícios que se enquadram na categoria de construções modulares são aqueles que estão 60 a 80% concluídos antes do transporte para o local final. [40]

Essa divisão permite uma melhor compreensão das diferentes opções de construção modular disponíveis no mercado ajudando os construtores a escolher a melhor abordagem para cada projeto.

O primeiro é a modulação que consiste na divisão de um edifício inteiro em diversos módulos planos ou volumétricos, que são montados fora do local de instalação. A construção no local da obra é reduzida ao trabalho de fundações e montagem dos módulos. Essa modulação é baseada na produção dos módulos em fábricas, sob condições padronizadas, o que garante a qualidade e precisão na fabricação.

O segundo são as edificações relocáveis, constituídas por construções móveis, que podem ser temporárias, seja como parte integrante ou como parte integral de um edifício. De maneira geral, são feitas sobre eixos que facilitam o transporte e a mobilidade. A construção modular tem um histórico na criação de edifícios temporários em estaleiros de apoio a obras ou em escolas, por exemplo.



Figura 22 – Edifício Relocável, fonte [42].

Para finalizar, a construção modular permanente é parecida com uma construção convencional realizada no local de destino, com a mudança de que é pré-fabricada fora do local da obra, sendo depois colocada sobre fundações. Os seus componnetes podem ser agregados em projetos construídos in situ ou utilizados como edificios autônomos. A grande vantagem e diferença dessa técnica é a redução significativa do tempo de construção e a possibilidade de realizar trabalhos simultâneos no local, ver figura 23, [40] e [41].



Figura 23 – Cronograma: Construção Modular x Construção Sustentável, fonte [40].

2.2.6 TIPOS DE SISTEMAS MODULARES

Ao se deparar com diferentes sistemas modulares na construção, é importante saber as principais características que podem ser usadas de forma eficiente no processo de projeto das construções. Exigindo a adoção de um método de composição que vai servir de base para a criação do sistema modular, independentemente do produto que se queira obter.

Existem três tipos distintos de sistemas modulares: sistemas em esqueleto estrutural, sistemas em painéis e sistemas em células. No primeiro, as funções de separação e estruturais são feitas por elementos diferentes que possuem independência entre si. Já o segundo, apresenta suas funções de separação e estruturas constituídas pelos mesmos elementos, podendo ser utilizados como feição de papéis de parede portante integral ou fragmentada. No último, mas não menos importante, as funções de partição e estrutura são realizadas por elementos únicos, com proporções adequadas para criar pelo menos uma divisão espacial da construção. Por essa razões é importante distinguir as principais características

desses sistemas modulares para utilizá-los de forma eficiente como ferramenta projetual, ver figura 24. [41]

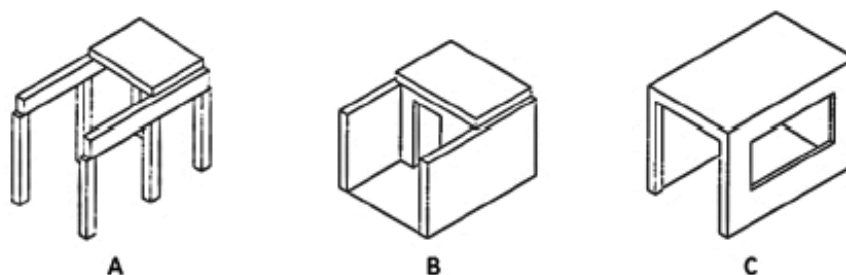


Figura 24 – Diferentes Sistemas Modulares, fonte [43].

2.2.7 MÓDULO E SISTEMA DE REFERÊNCIA

2.2.7.1 Módulo

Nesse momento é sine qua non destacar que a análise do conceito de módulo ajuda a dismitificar como a ideia de construção modular tem sido realizada ao longo do tempo na história da arquitetura. O desenho oferecido pelo módulo é fundamental para o processo de projeto arquitetônico e para a composição do espaço construído.

O sistema construtivo modular é concretizado a partir de módulos e seus componentes. A designação módulo, tem como origem a palavra latina "modulus", que significa medida base ou modelo. O uso desses módulos como medida padrão para a construção, gera a criação de espaços arquitetônicos a partir de uma estrutura coesa e estruturada, conferindo um aspecto uniforme e organizado à obra. [34]

O módulo pode ser considerado em unidades autônomas que, ao ser combinado com outras, forma um todo. Essa unidade é chamada de "modelo" e é a partir da mesma que é possível criar diferentes espaços arquitetônicos adaptáveis para permitir um sistema de modulação e montagem mais rápido e intuitivo. [41]

A figura 25 apresenta o exemplo de uma planta de uma moradia unifamiliar realizada sobre um referencial modular.

De acordo com Caporioni, o módulo a usar respeita algumas bases que devem ser seguidas de forma unânime pelos países que adotam a coordenação modular. Uma delas é que o módulo é uma unidade autônoma que tem como objetivo ser denominador comum das medidas e deve ser escolhido um valor que permite o uso de múltiplos valores em todas as dimensões dos elementos construtivos, minimizando as variações necessárias.

Para complementar, também é o fator numérico que permite o crescimento de qualquer dimensão modular e deve ser concretizado em um número inteiro. Tem que se permitir a maior redução possível na variedade de componentes, enquanto ainda permite uma correlação mínima a ser satisfeita entre as dimensões modulares dos componentes e os espaços que vão ser modulares do projeto. [44]

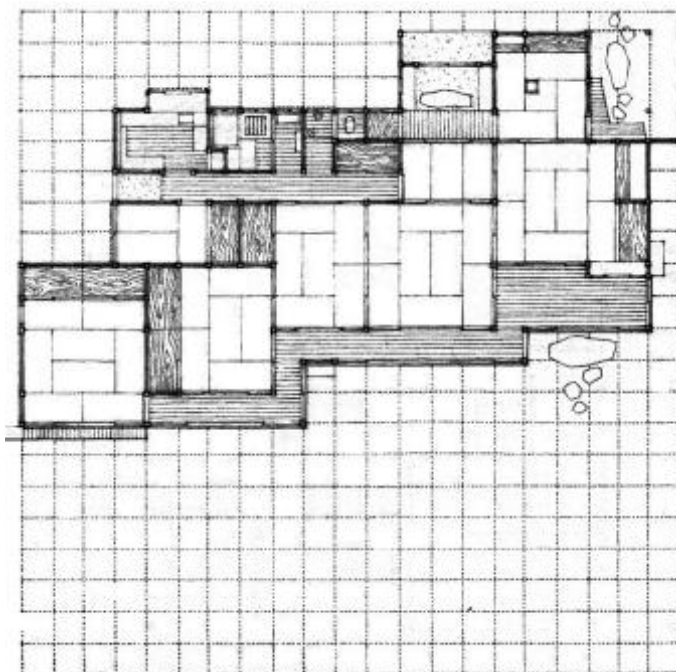


Figura 25 – Residência feita a partir de módulos, fonte [45].

2.2.7.2 Sistema de Referência

Quando marcamos um ponto em uma folha de papel, nós dizemos que este ponto organiza o espaço em duas dimensões, X e Y. De maneira geral essa é a forma mais comum de se representar a organização espacial em desenhos e plantas arquitetônicas. Apesar disso, existe uma terceira dimensão, que é muitas vezes ignorada nesse tipo de representação.

Esse ponto passa a se movimentar e temos agora três dimensões, necessitando agora de uma coordenada Z para representar a altura em relação a um determinado ponto de referência. Essa terceira dimensão é importantíssima na arquitetura, pois é ela que permite criar espaços volumétricos, tridimensionais, que podem ser habitados. [34]

Vamos recordar que, embora a representação em duas dimensões seja útil para a concepção de um projeto, ela não corresponde à realidade espacial de forma completa. Por essa razão é necessário pensar de forma tridimensional para que a construção atenda às necessidades dos usuários. Por isso, é fundamental que arquitetos levem em consideração a organização espacial em três dimensões desde o início do processo de criação de um projeto.

O sistema referencial é uma ferramenta da arquitetura e construção, que permite a organização do espaço em três dimensões e o encaixe de todos componentes construtivos nesse sistema. Baseado em um sistema modular, cria um denominador comum de medidas para os diversos elementos construtivos.

Segundo Lucini, o sistema referencial se trata de um conjunto de planos que formam um reticulado geométrico utilizado para definir as coordenadas espaciais de um objeto em relação a um ponto de origem. O sistema, que pode ser composto por um plano horizontal de referência, é definido por dois eixos cartesianos, geralmente identificados como X e Y. Adicionando a isso, é possível utilizar os dois planos verticais, que são constituídos pelos eixos cartesianos ortogonais X, Y e Z, permitindo assim a representação de objetos tridimensionais. [46]

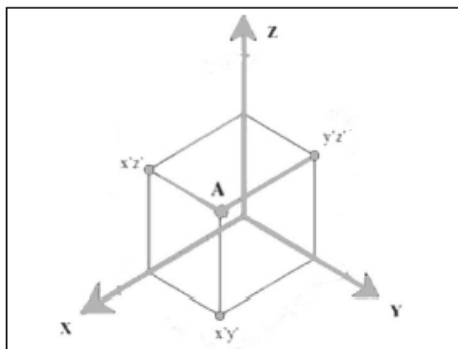


Figura 26 – Sistema de Referência, fonte [46].

Composto pelos dois planos de referência, horizontal e vertical, o sistema referencial utiliza três eixos cartesianos ortogonais (X, Y e Z) para definir a posição e dimensão de cada componente na construção. Assim, o sistema de referência acaba por ser utilizado tanto no momento de projetar quanto no de executar a obra, permitindo uma resolução precisa das relações entre os componentes e permitindo a exata correspondência entre as medidas de seus componentes.

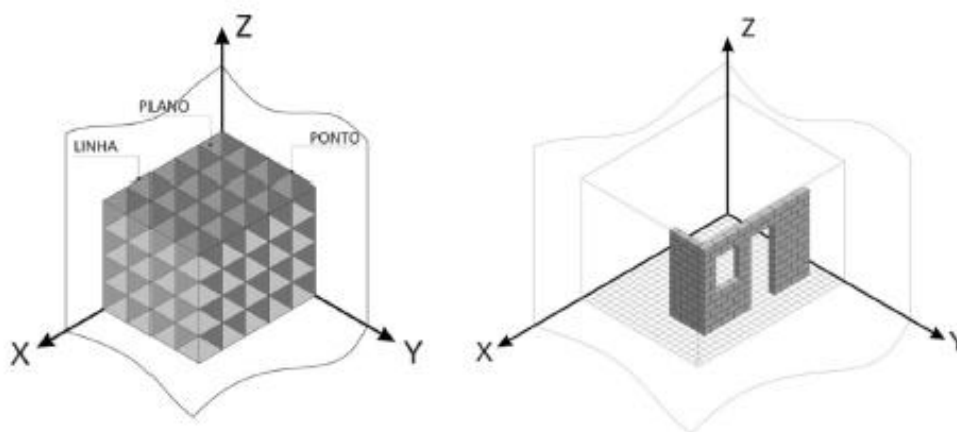


Figura 27 – Sistema Referencial e sua Aplicação, fonte [34].

2.3 CONSTRUÇÃO MODULAR E BIM

2.3.1 ENQUADRAMENTO GERAL

O BIM é uma abordagem mais recente da indústria da construção, que permite que a informação seja interligada através de relações paramétricas. Isso significa que as alterações são feitas em tempo real no modelo em todo o projeto, diminuindo a propagação de erros e aumentando a eficiência do processo de atualização. Complementando, os modelos BIM podem possuir análises estruturais e energéticas, planejamento do processo da construção, análises de custos, etc. Dessa maneira o projeto e a construção de um edifício são trabalhados em equipe e envolvem diversas especialidades. [47]

Através de um modelo BIM, é construída uma base de dados central que integra as informações de diferentes áreas do projeto, possibilitando que os membros trabalhem em conjunto e possam tomar decisões com o conhecimento de todos. Faz com que os arquitetos, engenheiros civis, elétricos, hidráulicos e mecânicos, por exemplo, estejam integrados, coordenando seus esforços e garantindo que todas as informações necessárias estejam presentes no projeto final.

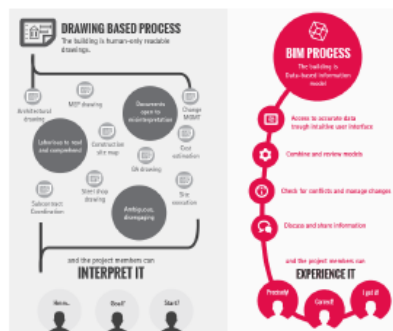


Figura 28 – BIM x CAD, fonte [50].

A utilização do BIM é uma abordagem diferente em relação ao CAD tradicional. Enquanto o CAD 3D é limitado à representação visual, o BIM acrescenta a dimensão do tempo (4D) e dos custos (5D), entre outras, e mais dimensões necessárias para boa compreensão do projeto. Com o 4D, a equipe pode determinar a localização e a duração de tempo de trabalhadores, equipamentos, materiais e outros elementos no projeto. Adicionando o 5D possibilita o cálculo dos custos do projeto como um todo, e suas partes separadas.

Partindo para o 6D, integra-se a sustentabilidade do edifício, análise energética, avaliação do ciclo de vida. Finalizando com 7D, o BIM permite a gestão das instalações e o suporte técnico e manual de manutenções ao longo da vida útil do edifício. [49]



Figura 29 – Dimensões do Bim, fonte [48].

Com todas essas dimensões, é possível fazer uma abordagem mais focada e coordenada na construção, achar e resolver os problemas, bem como o compartilhamento e discussão de informações. Em resumo, o BIM representa uma evolução na abordagem da construção em relação ao CAD tradicional, adicionando dimensões e permitindo assim uma abordagem integrada e coordenada do projeto e do processo construtivo.

2.3.2 ETAPAS DO BIM NO PROCESSO CONSTRUTIVO

No estudo preliminar, são feitos estudos iniciais do planejamento de um empreendimento e é normal a utilização de técnicas e ferramentas para serem feitos quantitativos não espaciais e especificações textuais. As ferramentas utilizadas lidam principalmente com os fluxos de caixa, a função ou geração de renda, associados às áreas e demais equipamentos necessários, bem como estimativa inicial da obra.

As informações e valores textuais são importantes para a tomada de decisões informadas sobre a construção, permitindo uma visão mais clara dos seus custos e benefícios financeiros. Adicionando a isso podem sobrepor ou interagir com outras fases do projeto, como o anteprojeto, a produção ou o planejamento financeiro.

No anteprojeto, é feita a fixação de requisitos de espaço e funcionalidades, a partir das necessidades do negócio e dos usuários finais. Além disso, nessa etapa é interessante considerar as fases do projeto, possíveis causas de expansão e questões relacionadas com o terreno e contexto em que o empreendimento será desenvolvido e implementado.

Restrições impostas pelas câmaras municipais também devem ser levadas em conta, com o objetivo de garantir que o projeto esteja em conformidade com as normas e regulamentos aplicáveis. Complementando, a fase de anteprojeto pode atualizar a estimativa de custos baseada nas informações adicionadas, tendo assim uma visão mais precisa dos custos envolvidos no empreendimento.

É neste momento avaliada a viabilidade financeira do projeto e são tomadas decisões específicas informadas a respeito de seu desenvolvimento nas etapas subsequentes, tais como dimensões, materiais e acabamentos a usar, equipamentos a incorporar na obra e trabalhos finais, entre outros.

Projeto básico, é onde se materializa o programa do anteprojeto, visualizando como a edificação será distribuída e organizada espacialmente. Aqui são produzidas plantas e cortes da edificação, que mostram as dimensões dos espaços e sua relação. Podem ser criadas renderizações iniciais do conceito, que ajudam a determinar a volumetria do edifício.

Esta é uma fase fundamental para garantir que o projeto esteja de acordo com as necessidades do cliente, além de permitir a avaliação de diferentes alternativas de design. Desse momento em diante será mais difícil fazer ajustes e refinamentos significativos no projeto, devendo-se sobretudo investir aperfeiçoamento de sua função e estética, sem realizar alterações no conceito antes criado. [51]

No projeto executivo, são feitos todos os desenhos como estrutura, fundação, iluminação, mecânico, elétrico, comunicação, segurança, acústica, entre outros. Com o foco de um fornecimento completo de um plano para a construção do edifício, com informações precisas sobre os materiais a serem utilizados, seus acabamentos e detalhes gerais. O projeto executivo inclui aspectos específicos de detalhe técnico tais como por exemplo a drenagem do terreno num local com nível freático muito alto, para garantir que o projeto seja funcional, seguro e esteticamente agradável, mas ao mesmo tempo “tecnicamente viável”.

Essa etapa garante que todos os aspectos do projeto estejam alinhados e integrados de forma eficiente, permitindo a execução da construção sem grandes contratempos. Suas plantas baixas são detalhadas e incluem os principais sistemas de construção, permitindo que o projeto seja avaliado. [51]

Já o projeto para a produção, constitui uma das fases mais importantes do processo de construção de um edifício modular. Inclui as informações necessárias para produzir os módulos e ao mesmo tempo preparar o seu transporte e integração no local da obra, incluindo a demolição e adaptação de estruturas existentes e a preparação da fundações e de ligações finais a redes de infraestruturas.

Inclui a especificação detalhada dos materiais e sistemas que serão utilizados na construção, e o dimensionamento dos componentes que garantem a estrutura do edifício. Essa etapa, o plano de construção, inclui também testes e critérios de aceitação para os sistemas principais do edifício, ver figura 30. [51]

<i>Estudo preliminar</i> Quantitativos não espaciais e especificação textual do empreendimento, lidando principalmente com fluxos de caixa, função ou geração de renda; associa áreas e equipamentos necessários; inclui estimativa inicial de custos; pode sobrepor ou interagir com a fase de anteprojeto, de produção ou planejamento financeiro.
<i>Anteprojeto</i> Fixa requisitos de espaço e funcionalidade, fases e possíveis necessidades de expansão; questões relativas ao terreno e contexto; restrições do código de obras e zoneamento; também pode incluir atualização da estimativa de custos baseada nas informações adicionadas.
<i>Projeto Básico</i> Projeto preliminar do empreendimento com plantas da edificação, mostrando como o programa do anteprojeto é materializado; volumetria do edifício e renderizações iniciais do conceito; determina alternativas de materiais e acabamentos.
<i>Projeto Executivo</i> Plantas baixas detalhadas incluindo todos os principais sistemas de construção (paredes, fachadas, pavimentos e todos os sistemas: estrutural, fundação, iluminação, mecânico, elétrico, comunicação, segurança, acústica, etc.) com detalhes gerais; materiais e seus acabamentos; drenagem do terreno, sistemas relativos ao terreno e paisagismo.
<i>Projeto para Produção</i> Planos detalhados para demolição, preparação do canteiro de obras, terraplenagem, especificação de sistemas e materiais; dimensionamento de membros e componentes e especificações para conexões de vários sistemas; testes e critérios de aceite para os sistemas principais; todos os componentes e conexões requeridas para integração entre sistemas.
<i>Revisão da construção</i> Coordenação de detalhes, revisão de layouts, seleção e revisão de materiais; alterações requeridas quando as condições na construção não são como esperadas ou devido a erros de execução.

Figura 30 – Resumo das etapas do BIM, fonte [51].

A última etapa, a revisão da construção, é fundamental para uma coordenação de detalhes e revisão dos layouts definidos. Nesta etapa, também é feita uma avaliação final dos materiais a usar, a fim de garantir que todos os componentes estejam de acordo com as especificações do projeto. Além disso, é necessário estar aberto a fazer alterações quando a construção não corresponde às expectativas ou apresenta erros de execução, para garantir assim a qualidade do resultado final. [51]

2.3.3. BIM PARA PROFISSIONAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O BIM acaba por ser uma grande mudança na forma como os projetos são feitos, com uma maior ênfase na fase de concepção, ao contrário do CAD, que se concentra principalmente na automação dos desenhos. A tecnologia BIM é uma mudança grande na prática de projeto e construção, que traz grandes vantagens em termos de economia de tempo e dinheiro. O uso de um modelo com informações parametrizadas do edifício permite um melhor planejamento dos processos construtivos.

Para explorar todo o potencial do BIM, construtores, projetistas e fabricantes têm que trabalhar em colaboração desde o início do projeto, compartilhando conhecimentos e experiências, de modo a maximizar os benefícios e obter melhores resultados em todas as etapas do empreendimento, desde a fase de projeto até a construção.

A utilização da tecnologia BIM, melhorou a coordenação entre os membros da equipe da construção, diminuindo erros e conflitos, aumentando a eficiência na programação e pré-fabricação. O nível de detalhamento foi aumentado e deve ser de acordo com as funções que irá desempenhar.

Porém, a mudança para o BIM requer uma curva grande de aprendizado, com mudanças nos processos e relacionamentos comerciais. Tem que se salientar que é necessário planejar cuidadosamente a adoção do BIM e buscar assistência de consultores. Os construtores devem estabelecer uma liderança na utilização do BIM para obter vantagens construtivas.

O BIM na construção oferece vantagens para os construtores, como a detecção de erros e omissões no projeto, mapa de quantitativos, estimativas, cronogramas, cronograma da construção, verificação de atividades de construção e a reação eficiente aos problemas encontrados, ver figura 31.



Figura 31 – Problemas de Compatibilização, fonte [52]

Com uma melhor implementação de técnicas de construção, o BIM permite uma sincronização da aquisição de materiais com o projeto e a construção. Os construtores têm de ser proativos na adoção da tecnologia BIM, planejando de forma cuidadosa as alterações necessárias, ver figura 32.



Figura 32 – Benefícios do Processo BIM, fonte [53]

2.3.4. BIM EM PROJETOS DE CONSTRUÇÃO MODULAR EM MADEIRA

As técnicas de construção modular e prefabricação apresentam certos limites relacionados com as mudanças durante a fase de construção dos sistemas e componentes dos edifícios. Essas falhas podem fazer com que a prefabricação não tenha o rendimento desejado. No entanto, a incorporação do BIM na construção chegou para resolver esse tipo de problema, permitindo simulações do trabalho a ser realizado em obra, aumentando o rendimento da aplicação de estruturas modulares pré-fabricadas.

Segundo uma pesquisa da FMI Corporation, o BIM torna mais possível a utilização de técnicas de prefabricação na construção pois, com a presença de um trabalho colaborativo, apresenta uma efetividade na incorporação do uso de conjuntos pré-fabricados. Somando a isso, o uso do BIM possibilita um maior planejamento dos conjuntos pré-fabricados ainda durante a fase de projeto, melhorando os trabalhos na produção e no canteiro de obras.[54]

Com a modelagem virtual dos elementos desejados, o próximo passo é fazer a integração com o CAM (Computer Aided Manufacturing) para facilitar o processo de projeto, fabricação e montagem de construções modulares em madeira. Uma integração essencial para otimizar a produção, uma vez que a automatização da produção é uma das grandes vantagens da modelagem BIM. Como resultado, é possível a obtenção de peças desenhadas automaticamente a partir do modelo gerado. [55]

A integração do modelo com projetos de construções pré-fabricadas modulares em madeira é uma prática eficiente pois a madeira é um material extremamente versátil e sustentável, capaz de oferecer uma série de vantagens, como a facilidade de transporte, a rápida montagem e a redução de resíduos e emissões de carbono.

Ao integrar o BIM com os processos e projetos de pré-fabricação da madeira, gera-se uma melhor visualização e planejamento de todo o processo construtivo, desde o início do projeto, permitindo uma maior precisão e eficiência do processo construtivo, ver figura 33.

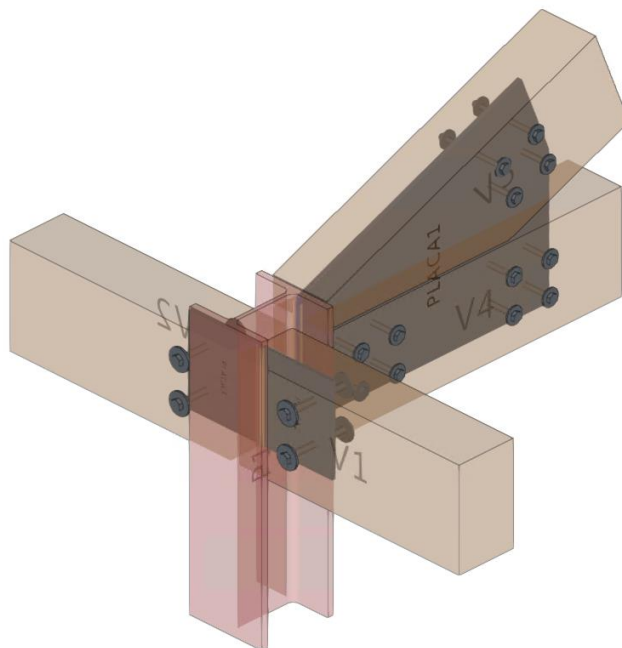


Figura 33 – Vigas em Madeira em software BIM, fonte [56]

Para fazer um resumo, a tecnologia BIM permite uma melhor gestão e comunicação entre as diferentes equipes envolvidas na construção. A precisão do encaixe dos módulos pode ser alcançada e reduz erros na montagem. Por essas razões, a integração do BIM com projetos pré-fabricados modulares em madeira está cada vez mais presente e constitui uma ferramenta fundamental a usar no desenvolvimento e inovação da indústria da construção civil.

2.3.5. VANTAGENS E DESVANTAGENS

2.3.5.1 Vantagens

Uma das primeiras vantagens do BIM aplicado a projetos pré-fabricados modulares em madeira é a redução dos prazos de execução da obra. Dessa forma, é possível fazer simulações com construção em 3D e, como consequência, é possível que sejam produzidos em ambiente controlado e preciso, enquanto a fundação e a infraestrutura são construídas no local da obra.

Outra vantagem da utilização do BIM nos projetos pré-fabricados modulares em madeira é a possibilidade de reduzir o custo. A tecnologia permite a criação de modelos virtuais, permitindo a simulação de diferentes cenários e a avaliação de diversas alternativas, ver figura 34.

Juntando o BIM com os projetos pré-fabricados modulares em madeira também pode se oferecer benefícios em relação à sustentabilidade. Como a madeira é um material renovável e sustentável, a sua utilização em módulos pré-fabricados reduz a quantidade de resíduos na construção.

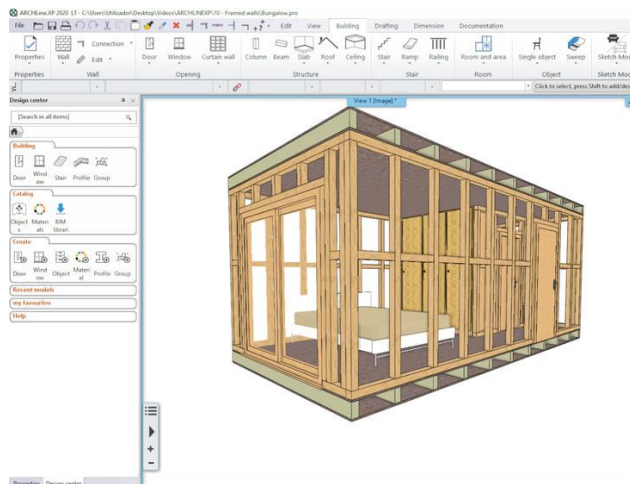


Figura 34 – Projeto em Madeira utilizando modelagem BIM, fonte [58]

Por fim, a integração do BIM com projetos pré-fabricados modulares em madeira também melhora as questões em relação à segurança do trabalho. Sendo possível verificar os riscos e definir as medidas preventivas antes do início da obra. Além disso, o recurso a módulos pré-fabricados em madeira reduz a necessidade de atividades que envolvem trabalho realizados em altura no local de trabalho, sendo grande parte do trabalho feito em espaços confinados e com melhores condições de segurança e conforto, ajudando a prevenir os acidentes em canteiros de obras. [57]

2.3.5.2 Desvantagens

O BIM em projetos pré-fabricados modulares em madeira pode enfrentar desafios que estão relacionado com a adaptação dos profissionais da construção civil. Como a tecnologia BIM requer muito treinamento e capacitação, muitos profissionais podem não estar suficientemente habilitados a usar a tecnologia.

Outra desvantagem em projetos é o custo inicial mais elevado. A tecnologia necessita de grandes investimentos iniciais em software, hardware e treinamento, ver figura 35.

Sobretudo em países onde a construção em madeira é menos corrente, os módulos pré-fabricados em madeira podem ser substancialmente mais caros do que a construção tradicional que recorre a betão ou aço.

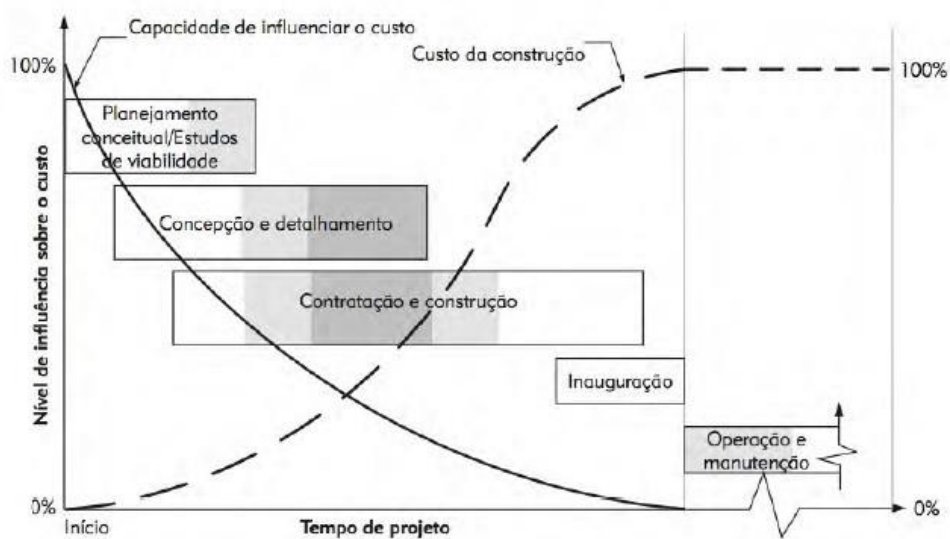


Figura 35 – Relação Tempo com Custo do projeto utilizando método BIM, fonte [59]

Para finalizar, a integração do BIM também pode apresentar desafios relacionados com a certificação e regulamentação. De qualquer forma, a utilização de módulos pode apresentar desvantagens em algumas regiões, por causa de eventuais regulamentações locais de apoio à inovação e apoio à implementação de soluções mais sustentáveis e ambientalmente menos poluentes. [57]

3

SOLUÇÕES EXISTENTES – MADEIRA COMO MATERIAL CONSTRUTIVO

3.1. INTRODUÇÃO

Nesse capítulo são apresentados alguns sistemas construtivos pré-fabricados em módulos em madeira, projetos feitos em Portugal e também na Europa. A partir de critérios, como custo, mobilidade, adaptabilidade, segurança e inovação. O Objetivo é ter uma visão abrangente do cenário nesta área, apresentando uma grande variedade de soluções, destacando suas particularidades positivas e negativas.

A partir dessa investigação, é possível assimilar melhor as características de cada sistema e as vantagens que podem proporcionar quando as comparamos com os métodos tradicionais de construção. A pesquisa realizada facilitou a identificação de sistemas confiáveis que podem ajudar significativamente para o avanço da construção pré-fabricada em módulos de madeira.

Prolíficas empresas que têm arriscado na construção modular como um conceito diferenciado de arquitetura. Não obstante, apesar de os projetos terem origem em diferentes lugares, estão conectados por uma linguagem, conceito, partido e materiais parecidos, o que destaca o uso crescente da madeira como material de construção em arquitetura de grande valor estético e funcional, como por exemplo o da figura 36.



Figura 36 – Refeitório Bluepharma – Modular System, fonte [60]

Esses modelos de arquitetura modular contemporânea em madeira demonstram como a construção pré-fabricada em módulos tem se tornado cada vez mais comum na sociedade atual. É de notar como essas empresas estão projetando edifícios que se harmonizam com o ambiente construído, fazendo permitir que a natureza e a construção estejam em harmonia. Essas empresas mostram que a construção modular pode oferecer soluções eficazes e esteticamente agradáveis, porque a madeira, pode gerar uma sensação de aconchego e relaxamento nas pessoas, o que ajuda ainda mais no seu espalhamento pela sociedade.

O estudo dos projetos que foram considerados evidencia uma preocupação objetiva com o modo construtivo e a forma como a intervenção é integrada e pode ser adaptada no local de implantação, ver figuras 37 e 38. Criando desde uma habitação simples, a algumas construções mais complexas que oferecem ao cliente um conforto, qualidade e sustentabilidade bastante elevados.

Modelo T3



Figura 37 – Casa modelo modular T3 – Imowood, fonte [61]

Antes de expormos os exemplos dos casos do estudo, é importante realizar uma breve reflexão sobre o material utilizado, a madeira. A madeira é um dos materiais construtivos mais antigos e utilizados em todo o mundo, sendo uma opção em determinados casos, devido às suas características de resistência, durabilidade e versatilidade. De maneira geral, a madeira tem sido usada em várias formas de estruturas, como telhados, vigas e pilares.

Mais atualmente tem tido um maior interesse no uso da madeira como material de construção, devido à sua capacidade de integração, sustentabilidade e de poder proporcionar um ambiente interno mais saudável. Em resumo, os projetos estudados mostram que a madeira pode ser utilizada de forma eficiente na construção de edifícios pré-fabricados em módulos, gerando habitações confortáveis, eficientes e com grande qualidade estética arquitetônica.



Figura 38 – TreeHouse Spot – Jular, fonte [10]

3.2 JULAR MADEIRAS – SISTEMA TREEHOUSE

A pesquisa de diferentes soluções de habitações construídas de forma modular ao longo do tempo permite compreender algumas das vantagens deste método construtivo. Permite a redução de desperdícios de materiais e tempo na produção e montagem e garante a qualidade dos projetos desenvolvidos.

A empresa Jular, anteriormente não realizava a construção modular. Projetou o sistema TreeHouse junto com os arquitetos Appleton & Domingos, visando atingir um público que queria habitações modulares construídas em madeira. Apesar da construção modular não ser uma grande novidade, o novo ponto aqui é a construção em grande escala em madeira, o que antes não era possível. Este sistema relaciona vários fatores, como o sistema modular, a construção, o tempo e a montagem. [41]



Figura 39 - Casa Riga, Appleton & Domingos – fonte [62]

Com a pré-fabricação da madeira é possível novas soluções leves que podem ser de fácil transporte para o local de implantação. Para se destacar no mercado de construção modular, a empresa teve como uma de suas decisões fazer a combinação da habitabilidade das unidades de habitação em fusão com as métricas personalizadas dos painéis dos fabricantes. Criou dessa maneira um módulo-base que pode ser replicado de acordo com as necessidades do cliente.

A partir do módulo-base, criaram-se diferentes tipos de habitações, com diferentes morfologias em termos de tamanho e formato, mas sempre dentro da métrica, com as medidas padronizadas de 3m e 30cm por 6m e 60cm, ver figura 40. Dessas medidas, foram projetadas propostas habitacionais contemporâneas que se adequam às necessidades e preferências dos clientes. [63]

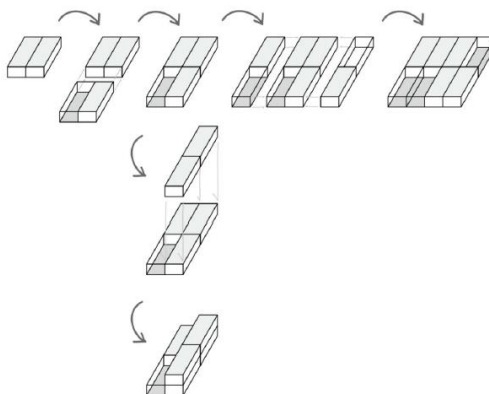


Figura 40 - Esquema de funcionamento dos módulos – fonte [41]

A Jular Madeiras possui 15 tipos de módulos para construção de habitações, cada um com variações e opções personalizadas. Podemos dizer que há cinco variações do módulo quarto, incluindo uma suíte, três variações do módulo da sala, com opções diferentes para sala de jantar e cozinha, duas variações do módulo da área de serviço, com cozinha, instalações sanitárias e acesso vertical, também há os módulos para garagem, lavanderia e instalações sanitárias. Além dos 15 módulos-tipo, disponíveis no site da Jular Madeiras, é possível dizer também que há mais 8 módulos-tipo fornecidos pelo engenheiro Hélder Santos, em PDFs, criados pela Appleton & Domingos Arquitetos. [63]

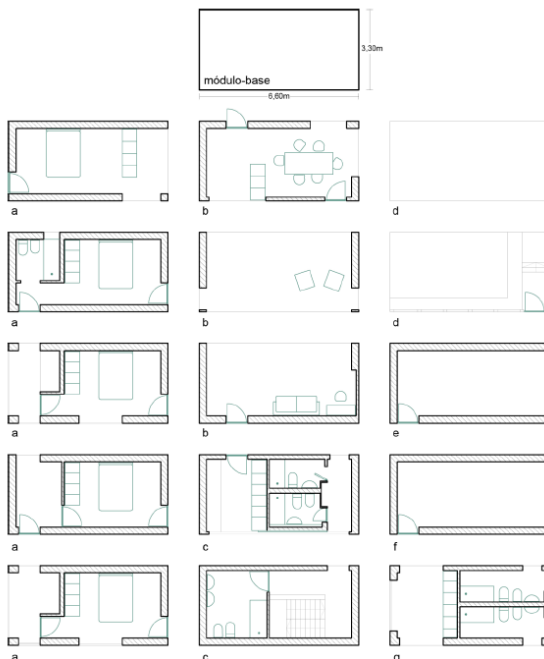


Figura 41 - Plantas do Módulos-base, TreeHouse – fonte [41]

A unidade-base se trata de um modelo tridimensional com o objetivo de construir habitações com várias unidades repetidas. Com diversos módulos-base é possível evitar a monotonia na construção. O atelier diz que as construções são feitas módulo a módulo, com dimensão base de 22 m² cada, possuindo habitações com diversas tipologias, desde T0 a T5. O sistema também foi pensado para ser uma construção com mais de um pavimento. Existem cinco modelos disponíveis com dois pisos, partindo de T2 com seis módulos no piso inferior e dois no piso 01, até um T4 com dezasseis módulos no piso inferior e dois no piso 01. [63]

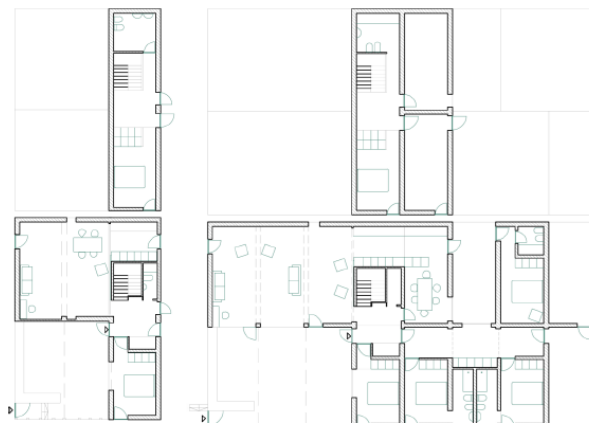


Figura 42 - Planta com dois pavimentos, TreeHouse– fonte [41]

3.2.1 PROCESSO DE CONCEPÇÃO - TREEHOUSE

O conceito foi concebido partindo de tamanhos leves e esbeltos, facilmente transportados em caminhões e posicionados no local de construção com uma grua, gerando uma construção rápida e acessível. Antes do processo de construção o cliente pode escolher a tipologia que deseja e recebe um book completo com todas as informações necessárias para obter o licenciamento. O sistema TreeHouse é homologado não só em Portugal, mas em toda a Europa. Cada um dos modelos é construído módulo a módulo em uma fábrica, e depois transportado para o local da obra. A montagem possui diversos processos sintetizados de forma a que causem o mínimo impacto na área circundante. As fundações da habitação são calculadas e feitas previamente.

As fundações para essas habitações utilizam metodologias que não causem grandes transformações ao nível do terreno existente. São utilizados conjuntos de estacas em uma malha de 3,50 metros por 3,50 metros. Para complementar, a empresa usa alguns parafusos com profundidade de 2,50 metros que têm um impacto mínimo no terreno circundante. [63] A alta qualidade de construção das TreeHouses pode ser atingida pela presença de vários layers nos módulos. A Multilayer são alguns materiais isolantes, como o isolamento térmico e acústico nas paredes externas, pisos e tetos, pensado e executado para fornecer uma alta eficiência energética e tornar as TreeHouses ecologicamente corretas. Para adicionar são feitos os vãos com vidros duplos e perfis adequados isolantes, todos pensados para serem usados em ruma malha proposta pela empresa.

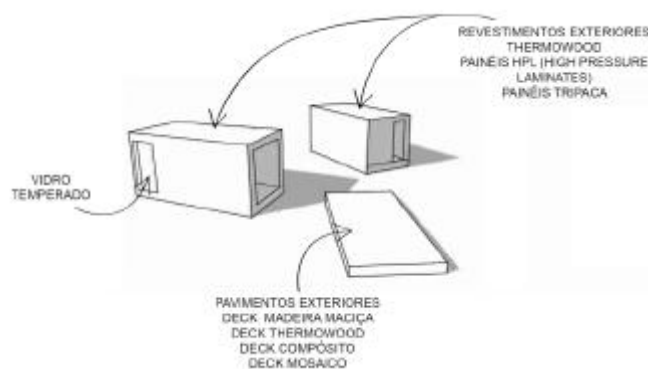


Figura 43 – Sistema Multilayer – Fonte [63]

Possui duas áreas técnicas, uma na laje de pavimento e outra na laje do teto. Essas áreas técnicas são feitas para receber caixa de eletricidade, isolamentos e outros equipamentos. Suas vigas possuem dimensões que suportam as áreas técnicas e criam um guarda-fogo que recebe a pendente da cobertura. Ou seja, essas zonas são projetadas com atenção aos mínimos detalhes para garantir a integridade estrutural da TreeHouse.

Existem diversos materiais que podem ser utilizados nas paredes e tetos, como lambrim em madeira maciça e PVC. Já nos pavimentos, as opções incluem madeira maciça, pavimento flutuante, laminado e pavimento vinílico. O isolamento é feito por telas compostas por fibras de polietileno. Para complementar podemos dizer que a madeira é um material de construção resistente a sismos, devido à sua ductibilidade e estabilidade, aumentando ainda mais a qualidade deste método.

Para a segurança contra incêndios a madeira é questionada várias vezes, no entanto, a sua estrutura molecular oferece uma excelente proteção, porque a carbonização da sua superfície dificulta a propagação do fogo em profundidade. [63]



Figura 44 – Vigas Finnjoist – Fonte [10]

O sistema TreeHouse, faz o uso de módulos do tipo 'contentor', que possuem algumas vantagens. Uma delas é a construção em fábrica que reduz o tempo da obra e os clientes podem escolher entre os vários modelos de módulos predeterminados para criar casas personalizadas. Esses módulos podem ser somados ou subtraídos da casa, de acordo com a necessidade da família. O sistema, segundo a Jular, é durável e requer baixa manutenção, com custos semelhantes aos da construção tradicional.

A empresa Jular é detentora de metodologias de fabricação simplificadas e eficientes para a construção de casas modulares. O processo inicia-se com a criação de um módulo regular, que possui e segue uma regra de comprimento e uma largura, e forma um sistema referencial para construção de suas habitações. Depois disso, a atenção vai para o design interior do módulo, bem como para as paredes e aberturas necessárias. O acabamento e revestimento também são escolhidos e pensados nesta fase.

Depois dos materiais escolhidos é feita a montagem do módulo em fábrica, onde é produzido e verificado antes de ser levado para o local final. Cada módulo cumpre sua função, ou seja, o processo é repetido para cada um dos módulos que em conjunto definem a habitação.

Portanto, a construção modular é um método de construção rápido e eficiente, uma vez que grande parte da construção é realizada em fábrica. Para somar, os clientes têm a oportunidade de especificar previamente as suas casas, escolhendo os módulos de maneira separada para que possa atender às suas necessidades. A durabilidade é similar ao de uma construção tradicional, no entanto, com custos

reduzidos de manutenção. O resultado é uma casa arquitetonicamente boa, que se encaixa de maneira adequada em vários contextos na qual pode ser inserida. [63]



Figura 45 - Casa Riga, Appleton & Domingos – fonte [62]

3.3 SISTEMA MIMA HOUSING

Neste segundo caso de estudo, foi estudada a empresa MIMA, que foi formada para atingir um nicho de mercado ainda não explorado - habitação modular com revestimento em madeira. A empresa projetou um novo conceito de habitação modular baseado na construção tradicional japonesa.

No ano de 2007, os arquitetos que fundaram a MIMA começaram a se perguntar sobre as soluções alternativas possíveis para a arquitetura. Eles tiveram a visão que muitas pessoas não tinham acesso a habitações tradicionais, e buscaram soluções que simplificassem os processos da arquitetura, deixando-a mais acessível, sem comprometer a qualidade arquitetônica. Essa abordagem descomplicada chegou a um método de pensamento arquitetônico, que envolve um conjunto de ideias usadas para desenvolver o projeto de habitação modular da MIMA. [64]



Figura 46 – MIMA House Interior– fonte [65]

A MIMA tem uma abordagem arquitetônica baseado em regras próprias, com critérios, com o objetivo de controlar as dimensões de todos os componentes interiores e exteriores. Um dos critérios inclui a repetição para sistematização da produção, o bem estar baseado numa relação entre a dimensão dos

elementos e a dimensão do usuário e os componentes que foram feitos a partir de sistema interativo desenvolvido no projeto. Tal permite atingir um resultado final com uma linguagem única e uma malha interessante que garantem a qualidade e consistência em suas habitações modulares.

A nova etapa foi decidir uma medida-base para ser introduzida em uma unidade-base, que vai se multiplicar para gerar novos espaços. Foi decidido que a medida seria de 1 metro e 50 centímetros. Essa medida foi determinada baseada em critérios como funcionalidade e conforto para o usuário.

Dessa medida foi possível gerar espaços com dimensões confortáveis para os habitantes, que foi obtida através da multiplicação de seus módulos. A distribuição dos elementos nessa métrica permitiu um equilíbrio das proporções entre as diferentes divisões da casa. Por exemplo, um módulo pode ser usado com uma área de uma casa de banho de serviço com 2,75m². Dois módulos podem gerar uma área necessária para uma cozinha com 4,50m² e assim por diante, ver figura 47.

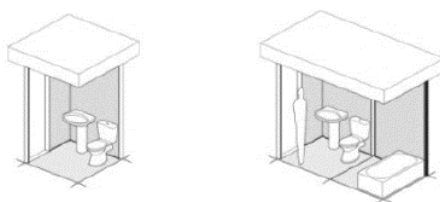


Figura 47 – Ilustração Esquemática para um WC – fonte [64]

A malha desse sistema é sobre a superfície do pavimento interno o que proporciona à habitação maior flexibilidade. Devido aos vãos grandes e painéis amovíveis, é possível aumentar de maneira visual o interior para o exterior aumentando dessa maneira a flexibilização da habitação. Trata-se de um sistema modular vivo, cuja organização espacial pode ser mudada graças à leveza de seus componentes. O sistema é constituído por um esqueleto estrutural de elementos leves de madeira. A estrutura é de fácil construção, composta por pilares e vigas localizados nas pontas, o que gera uma planta livre. Tal permite a possibilidade de movimentar e/ou adicionar paredes interiores, como mencionado anteriormente, o que aumenta o conceito de flexibilidade e a eventual personalização da habitação.

A empresa possui tipologias com habitações modulares que variam desde o T0 até o T4, utilizando a malha fixa de 1,50m x 1,50m. A tipologia T4 possui uma área total de 211 m², dos quais 150 m² são habitáveis, incluindo uma sala de 74 m², quartos com 9 m² cada e suítes com 18 m², ver figura 48.

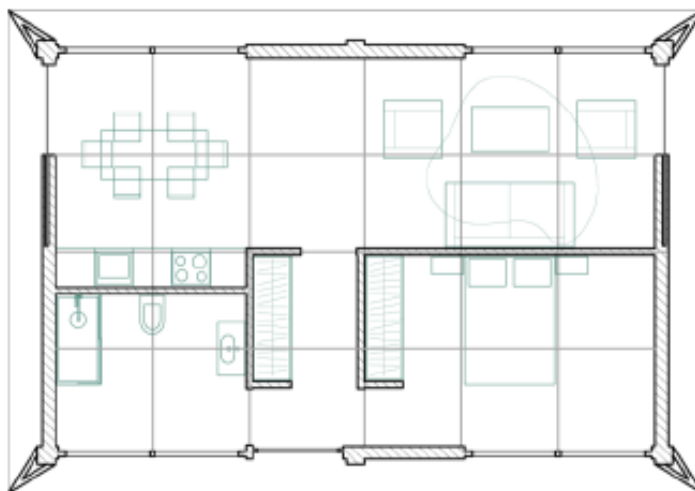


Figura 48 – Planta exemplo de uma casa MIMO – fonte [41]

Em relação às plantas das habitações MIMA, é possível verificar uma divisão clara entre a zona pública e a privada, a partir de suas divisões internas. As imagens representam algumas plantas mais uniformes, no entanto a MIMA oferece pelo menos mais uma ou duas variantes de cada tipologia.

3.3.1 PROCESSO DE CONCEPÇÃO – MIMA HOUSING

O conceito permite realizar a construção apenas em poucas semanas, desde o projeto inicial até à construção, incluindo a definição das escolhas do cliente. Tal é possível devido à exaustividade das especificações técnicas da arquitetura MIMA. O licenciamento é apenas uma formalidade, já que as habitações estão em conformidade com as normas vigentes. A produção em fábrica permite testar todos os componentes da habitação. Após todas as verificações, a habitação é transportada para o local de implementação onde as fundações foram entretanto construídas.

Sua construção é baseada em madeira, principalmente de pinho ou carvalho lamelado. Os vãos são constituídos por vidro duplo com caixilhos de madeira ou alumínio. Os acabamentos dos elementos horizontais e verticais são feitos com cimentícios de alta densidade, e o isolamento projetado depende das condições de clima do local onde vai ser instalada a residência. Possui um sistema de aquecimento opcional e sua drenagem de águas pluviais é através da inclinação no telhado e tubos de queda, ver figura 49.

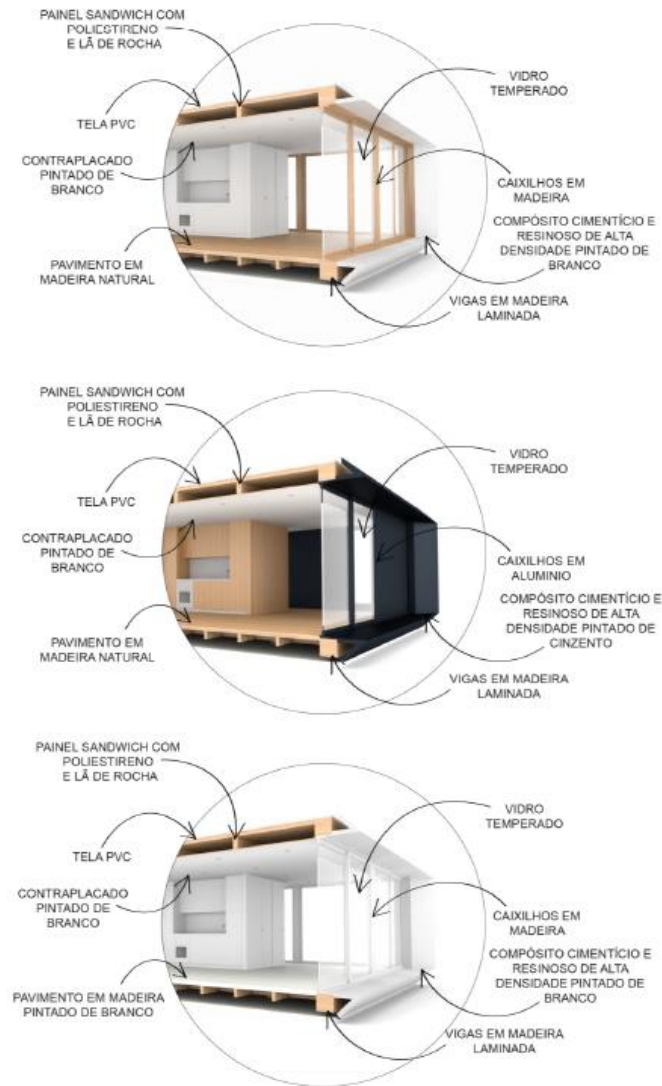


Figura 49 – Elementos Construtivos – fonte [66]

As casas que são construídas com madeira laminada apresentam excelente resistência sísmica como dito anteriormente. A estrutura das habitações é constituída por um aglomerado de folhas de pinho, dando assim estabilidade. A empresa se destaca devido aos benefícios e o modo como usa a madeira como material de construção, incluindo sua naturalidade, facilidade de extração e transporte, renovação, leveza entre outros. [67] O processo construção da habitação MIMA passa por quatro etapas que a figura 50 abaixo documenta.



Figura 50 – Processo Construtivo – fonte [67]

3.3.2 TABELA COMPARATIVA – TREEHOUSE E MIMA HOUSING

Uma tabela de comparação entre TreeHouse e MIMA housing pode ajudar a entender as diferenças e semelhanças entre essas duas soluções de habitação. Ambas as opções são construídas com madeira, mas utilizam técnicas e processos e características diferentes como podemos ver na tabela a seguir, ver figura 51.

	Sistema TreeHouse	Sistema MIMA House
Empresa	Jular Madeiras	MIMA Housing
Arquitetura	Appleton & Domingos	Mário Sousa e Marta Brandão
Sistema	Células	Esqueleto estrutural
Principal material construtivo	Madeira	Madeira
Dimensões mínimas	3,30 m x 6,60 m	6,96 m x 6,96 m
Tipologias	Variável consoante o número de células	Variável consoante a posição dos painéis divisório
Tipo de agregação	Horizontal e vertical	Vertical
Personalização	Escolha dos módulos, equipamentos e acabamentos	Escolha dos equipamentos e acabamentos

Figura 51 – Diferenças entre TreeHouse e MIMA Housing – fonte [41]

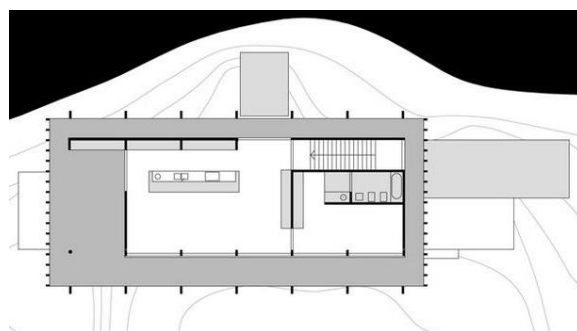
3.3 MODULAR SYSTEM

O Modular System é um sistema de construção modular de casas de madeira em Portugal que possui diversas opções para habitações personalizadas por meio do acoplamento de módulos predefinidos. Criado no ano de 2003, após várias pesquisas intensas pelos arquitetos Alexandre Teixeira da Silva e Miguel Ribeiro de Sousa, da empresa Arquiporto. [68]

Essa empresa oferece cinco produtos distintos: Custom, Séries, Base, Mobile Home e Nomad. Tais modelos permitem que os clientes escolham e personalizem suas casas a partir de suas necessidades e gostos, somando e subtraindo módulos de acordo com o que for necessário. A Custom da Modular System é uma linha da empresa que utiliza a experiência e tecnologia adquiridas no desenvolvimento do sistema construtivo modular da empresa. Trata-se de uma linha personalizada e independente,

fazendo com que o preço e o prazo de execução fiquem de acordo com as especificações e as necessidades de cada projeto. [5]

Outra linha, são as opções em série, que são módulos já desenvolvidos e aprovados pelos regimentos e normas técnicas de construção. Associam-se a tempos de execução mais curtos e preços bem mais baratos. Cada opção é composta por módulos previamente projetados, diferenciados em tamanhos XS, S, M, L e XL, que apresentam variações na sua composição. Para se adicionar, existem variantes dentro de cada módulo, identificadas como XS+, S+, M+, L+ e XL+, que aumentam a pluralidade na articulação espacial e arquitetônica.



Figuras 52 e 53 – Casa Custom – fonte [72]

Ao todo, a Modular System disponibiliza 34 modelos de Série, uma solução rápida e eficiente para quem procura por casas já prontas, aprovadas e com menores custos, mas com a possibilidade menor de personalização dentro de cada modelo. [68]

As casas Base da Modular System, representam uma linha de projeto que parte de adaptações feitas aos modelos das Séries. Estas são personalizadas para atender às necessidades específicas de cada cliente, de maneira que são projetadas do zero para cada cliente específico, aumentando o tempo e custo da execução.



Figuras 54 e 55 – Casa Base – fonte [71]

A linha Nomad tem uma base de tipologia diferenciada das demais, os seus módulos são triangulares e facilmente transportáveis. São parecidas com abrigos, nos quais podem se adicionar módulos conforme o programa de construção. Para finalizar, a casa Nomad foi projetada para ser energeticamente autônoma, tendo assim uma maior sustentabilidade, ver figuras 56 e 57.

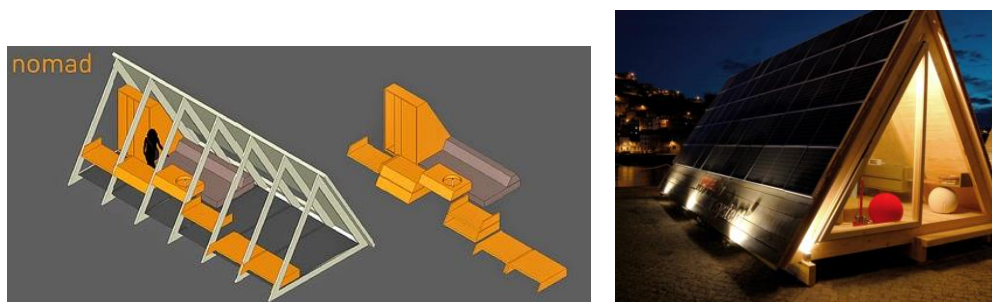


Figura 56 e 57 – Linha Nomad – fonte [69] e [70] respectivamente.

A linha Mobile, trata-se de unidades habitacionais modulares que podem ser transportadas. Seu projeto base tem uma lógica da modularidade aplicada à mobilidade. Essas casas são facilmente desmontáveis e transportáveis, permitindo que sejam instaladas em diferentes locais com facilidade. São feitas para otimizar o máximo possível a questão do espaço disponível, garantindo um ambiente minimamente confortável e adaptável a diferentes contextos. Cada unidade tem um piso com uma área útil de 42m², que é distribuída de maneira eficiente para garantir o máximo aproveitamento do espaço disponível, ver figura 58.



Figura 58– Linha Mobile – fonte [73]

É fundamental dizer que todas as categorias de casas Modular System representam apenas o ponto inicial para as diversas experiências possíveis de configurações de habitações. Cada linha da empresa pode possuir mais personalização, como por exemplo diferentes materiais de acabamento.

O sistema construtivo é composto de madeira lamelada colada, que apresenta diversas vantagens, tais como resistência e durabilidade. Suas paredes possuem soluções melhoradas de isolamento térmico e acústico, garantindo um conforto elevado dentro da habitação. As paredes internas da habitação são feitas por painel duplo de gesso cartonado, com núcleo preenchido com lã mineral, e podem possuir uma grande gama de revestimentos, como cerâmica, madeira ou pastilha de vidro. Já as paredes exteriores da habitação são materializadas com painéis duplos OSB, caixa-de-ar e isolamento em lã mineral, sendo o revestimento final definido pelo cliente.

Suas instalações elétricas e hidráulicas são ocultas, estando presentes dentro da caixa-de-ar das paredes, no pavimento e no teto. A manutenção da habitação é feita com a aplicação de um produto de tratamento impregnante nas zonas de madeira exposta. O nível e quantidade do tratamento dependem das condições climáticas do local da habitação.

3.4 INMOWOOD

A IMOWOOD - Imóveis de Madeira, é uma empresa fundada por investidores com grande experiência e conhecimentos adquiridos ao longo dos anos, sobre construções feitas de madeira. A escolha da madeira se deve à sua estética, resistência térmica e custos. Especializada na fabricação e comércio de construções de madeira, nomeadamente casas unifamiliares. Possui uma linha chamada WOODHOUSE, com uma grande variedade de tipologias para a construção de residências. Porém, se um cliente deseja ter um projeto específico, a empresa possui uma equipa de projetistas para fazer as alterações necessárias para atender cada cliente. [74]

A INMOWOOD possui três sistemas diferentes para construções de madeira: nórdico, tropical e europeu.

O sistema Nórdico faz o uso de madeiras nórdicas e as respetivas casas são detentoras de uma boa qualidade térmica e acústica em todos os componentes da habitação. A construção das paredes é realizada com pranchas de madeira com encaixe macho-fêmea, posicionados horizontalmente, junto com peças pré-cortadas e montantes verticais. Nesse sistema não é necessário o uso de pregos, parafusos ou outros elementos durante o processo de montagem.

As paredes externas, são simples, com espessuras variando de 70 a 180 mm, ou são paredes duplas, com espessuras de 70+70 mm a 180+95 mm, possuindo uma caixa de ar entre elas. As internas podem ser simples, com espessuras de 70 mm a 180 mm, ou duplas, com espessuras de 45+45 mm, 70+70 mm ou 95+95 mm, possuindo também uma caixa de ar entre elas, ver figuras 59 e 62.



Figura 59 – Linha Nórdico – fonte [75]

Já no sistema tropical, são usadas madeiras exóticas que possuem uma grande durabilidade, alta densidade e boas propriedades térmicas e acústicas em todos os elementos da construção. Bem como no sistema anterior, o sistema de construção das paredes no sistema tropical é feito com pranchas de madeira com encaixe macho-fêmea, não sendo necessário uso de pregos, parafusos ou demais elementos, ver figura 60.

Suas paredes externas são simples, com espessuras de 45 mm ou 70 mm, ou duplas, com espessuras de 45+22 mm a 70+70 mm, possuindo uma caixa de ar entre elas. Quando falamos dos interiores, podem ser simples, com espessuras de 45 mm ou 70 mm, ou duplas, com espessuras de 35+35 mm, 45+45 mm e 70+70 mm, possuindo também uma caixa de ar entre elas.



Figura 60 – Linha Tropical – fonte [75]

No sistema europeu, as paredes exteriores são constituídas por dois painéis – sendo um exterior e um interior, do qual resultam espessuras que podem variar dos 195 aos 300 mm. O painel externo pode ser revestido com diferentes camadas, como argamassas, tela de fibra de vidro, painel OSB, isolamento térmico e acústico. O painel interior pode ser formado por um painel de OSB e outro de gesso cartonado hidrófugo. Esta combinação de materiais tem como objetivo um bom desempenho em termos de isolamento térmico, acústico e resistência estrutural, ver figura 60.

As paredes que compõe o interior no sistema construtivo, são compostas por várias camadas. A base consiste em um painel de gesso cartonado hidrófugo, seguido por um painel OSB. Depois pode ser aplicada uma estrutura de madeira parecida com as paredes exteriores, com isolamento interno. Para finalizar é somado outro painel OSB com um painel de gesso cartonado hidrófugo. A espessura das paredes internas é de 140 mm. A sua montagem é realizada no local da obra e prevê uma pré-instalação para eletricidade, rede de água e esgoto, permitindo que a passagem e o acesso aos sistemas elétricos e hidráulicos, sejam feitos com facilidade.



Figura 61 – Linha Europeia – fonte [75]

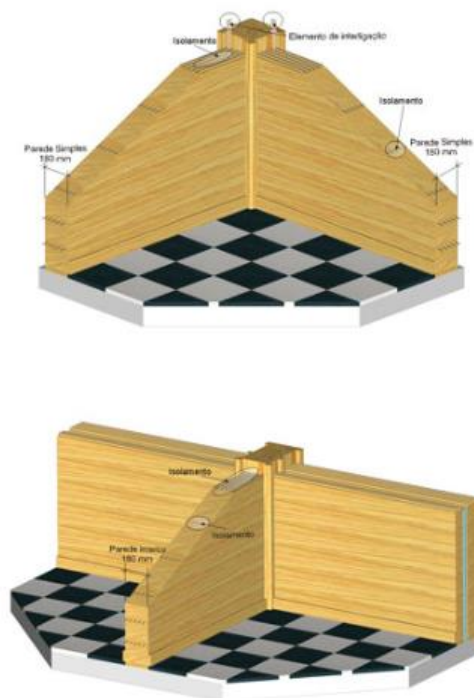


Figura 62 –Exemplos de Parede Externa e Interna no Sistema Nórdico – fonte [75]

Para além da linha Woodhouse, que tem como objetivo a projeção, concepção e montagem de casas de madeira, existe também a linha Woodlam.

Esta linha, analogamente, baseia-se no desenvolvimento, projeto, fabricação e montagem de estruturas de madeira lamelada colada feitas de pinho nórdico, bem com suas ligações metálicas correspondentes.

A madeira lamelada colada é um material constituído por lamelas de madeira com espessuras pré-dimensionadas, que são ligadas de maneira eficiente através de sobreposição com colas de alta resistência. Sendo suas lamelas classificadas de acordo com sua classe de resistência mecânica, para garantir sua qualidade, durabilidade e resistência da estrutura.

Todas as casas fornecidas pela empresa incluem a resolução de tudo o que é necessário para fazer uma casa tais como:

- projetos de especialidades, transporte de todo o material para obra, mão-de-obra, fornecimento e aplicação de revestimentos para pavimentos, tetos e coberturas, portas interiores simples, execução de portas e janelas de sacada, fornecimento e aplicação de instalação elétrica, redes de água e esgotos, loiças sanitárias e respetivos acessórios, fornecimento e aplicação de todas as pinturas, etc. [74]

4

DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO

4.1 INTRODUÇÃO

No presente capítulo, é apresentada uma abrangente explicação do protótipo criado, abordando desde o seu conceito inicial até aos aspectos fundamentais que nortearam seu desenvolvimento. Para reforçar, e ter clareza sobre todos os detalhes do processo, descrevem-se as diversas etapas seguidas no projeto.

Ou seja, ao longo deste capítulo, detalham-se de forma minuciosa todas as soluções encontradas para os elementos construtivos do protótipo, assim como seus componentes e respectivos materiais a serem utilizados.

Faz-se também uma descrição do processo de montagem do módulo, que foi cuidadosamente estudada levando em consideração uma sequência de etapas que permitam assegurar uma correta integração e ligação dos componentes individuais, bem com a funcionalidade do edifício global.

Também se faz uma descrição dos módulos secos e molhados que compõem o protótipo de projeto, considerando suas funções e conexões com as infraestruturas existentes no local. Nesse âmbito, estudaram-se com maior detalhe as ligações com as redes de abastecimento de água, rede de drenagem de esgotos e rede de drenagem de águas pluviais, com o objetivo de garantir o bom funcionamento e ligação do protótipo em seu local de construção.

No âmbito da arquitetura e urbanismo, fizeram-se também estudos de implantação de várias unidades de habitação de forma conjunta para mostrar como pode ser feita a integração do protótipo com o ambiente urbano circundante e explicar o layout interno da habitação e a sua integração com as habitações vizinhas. Neste ponto é feita uma reflexão sobre a utilização inteligente do espaço interior e exterior individual e coletivo, incluindo o uso de áreas verdes e sua integração com o projeto, cores, e demais temas específicos similares relevantes para o tema.

Ainda neste capítulo, descrevem-se os projetos hidráulicos desenvolvidos pelo autor, mostrando soluções eficientes para os projetos hidráulicos. É mostrado como foram projetadas as redes de abastecimento de água, rede de drenagem de esgotos e rede de drenagem de águas pluviais.

Finaliza-se com uma síntese geral, que consolida e resume os principais temas abordados ao longo do capítulo. Parte-se de uma visão panorâmica do protótipo desenvolvendo, evidenciando os seus pontos fortes e contribuições para a construção pré-fabrica em madeira evidenciando em seguida futuras potenciais melhorias a serem consideradas no seu desenvolvimento futuro.

Em síntese o capítulo apresenta uma descrição do protótipo desenvolvido com o objetivo de deixar uma visão abrangente e aprofundada de seu conceito, partido, processo de montagem do módulo e dos seus materiais, tipos de módulos e modos de os ligar entre si e com as infraestruturas existentes no local, ideias base de urbanismo e arquitetura e mostrar a solução adotada para projetos hidráulicos com uma síntese geral.

4.2 CONCEITO

O termo "Conceito" na arquitetura abrange uma grande quantidade de definições e interpretações tendo assim uma visão mais pessoal e subjetiva. Não existe assim nenhuma fórmula matemática sobre essa questão pois ela se relaciona com a filosofia que está por trás do processo de projeto e de geração das orientações gerais que guiaram a concepção do objeto arquitetônico a criar.

Trata-se de uma ferramenta base no desenvolvimento de qualquer projeto. O conceito arquitetônico é fundamental para explicar e entender melhor o projeto. Nesse processo de comunicação, busca-se sintetizar o entendimento do projeto em poucas palavras, que são de fácil entendimento, sendo uma tarefa difícil que requer muito cuidado.

O conceito na arquitetura e seu entendimento possuem papéis diferentes, sendo o conceito como uma maneira e o entendimento uma maneira de comunicar. No fim, o conceito possui sucesso quando é confirmado pela obra, sua integração e uso, e sempre que proporcionam uma nova experiência de vida aos usuários futuros, que irão validar a eficiência do conceito. O conceito em arquitetura é muito mais que a ideia ou conjunto de ideias originais mas pode ser associado a uma luz, uma visão, como a figura 62 abaixo pretende ilustrar.

Dessa maneira o estudo do conceito tem que abranger uma ampla gama de conhecimento, análises e reflexões que vão se equilibrando com a racionalidade e sua mistura com a intuição, buscando uma proposta arquitetônica funcional, agradável e viável. [76]



Figura 63 – Ideia representada como Lâmpada – fonte [77]

O desenho é uma maneira de buscar o conceito e está ligado originalmente a esboços ou maquetes e depois a plantas, cortes e volumetrias. Alguns protótipos de estudo são feitos para determinados projetos, junto com discussões e debates, até que uma solução correta seja atingida, ver figura 63.

O conceito deste projeto é suprir as necessidades por moradias dignas em Portugal, sendo elas sustentáveis e com custos acessíveis para a população com menor poder de comprar, entre eles, jovens em começo de vida. Com necessidades de integração ao meio ambiente, tem de possuir um método de construção mais sustentável com uma menor pegada ambiental. Ou seja, deverá usar métodos construtivos diferentes dos tradicionais, tais como o uso madeira, por exemplo.

Para somar, a eficiência é um elemento crucial no conceito deste projeto. Com métodos de construção modulares, é possível diminuir os processos de construção, reduzir desperdícios e diminuir o tempo e custos das moradias. Dessa maneira ajuda a contribuir para a viabilização da construção de moradias de baixo custo, sem comprometer a qualidade dos espaços arquitetônicos habitáveis a criar.

Portanto, o conceito do projeto desta tese possui fundações em um sistema de construção sustentável, eficiente e acessível, com objetivos de proporcionar moradias dignas, promover a sustentabilidade ambiental e ajudar na inclusão social dos jovens. Recorre a soluções construtivas que fazem o uso responsável dos recursos da construção, com eficiência nos processos construtivos, buscando transformar de forma positiva a realidade habitacional.



Figura 64 – Conceito Arquitetônico (recortado), fonte [78]

4.3 PARTIDO

4.3.1 INTRODUÇÃO

O partido é o ponto inicial para o surgimento de um projeto de arquitetura e urbanismo. Ele é baseado em um conjunto de ideias e parâmetros que guiam os profissionais da construção desde o início do processo de concepção até a fase de obra. É através do partido que o conceito previamente proposto se torna visível e viável.

Para conceber o partido arquitetônico, é importante entender um conjunto de informações e componentes. O conhecimento sobre as dimensões da construção, condições climáticas e ambientais é importante. Para complementar, é necessário levar em conta a legislação e normas urbanas sobre os parâmetros de cada região.

Outro aspecto para se falar é qual é o destino que a construção vai possuir. De acordo com o projeto, este pode ser uma casa, um edifício, um equipamento público ou outra função específica, e o mesmo deve estar adequado para as necessidades e condições próprias de cada construção. As questões econômicas, de estrutura e técnicas, também devem influenciar a base do partido, para garantir que o projeto seja eficiente.

Apesar do partido ser explicado por meio de textos de fácil explicação, ele também é expressado em desenhos, esquemas e maquetes. Essas representações visuais visam garantir uma melhor compreensão e visualização do conceito, de forma que facilite a comunicação entre os arquitetos e outros técnicos envolvidos e os seus possíveis clientes.

Dessa maneira, o partido arquitetônico passa a ser uma ferramenta essencial no desenvolvimento do projeto, permitindo que as ideias base sejam concluídas em soluções de projeto concretas e funcionais. [79]

4.3.2 DEFINIÇÃO DO PARTIDO E SUAS DIRETRIZES

O Partido do Projeto desta tese é fundamentado no cumprimento do Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), principalmente nas questões sobre dimensões e alturas mínimas para a habitação. Juntamente, foram consideradas as dimensões estruturais e de transporte dos módulos e seus componentes presentes na construção.

Para complementar o partido prioriza o uso de materiais sustentáveis, como a madeira, e a implantação de um sistema construtivo modular. O BIM (Building Information Modeling) vem para adicionar um papel auxiliar no processo de construção, de forma a permitir a integração das informações e a otimização do processo de concepção e de construção.

Nos próximos parágrafos fala-se da importância de cada uma dessas diretrizes e como ela impactou no projeto final.

O RGEU possui um papel de importância elevada já que estabelece diretrizes relacionadas com as áreas mínimas das habitações, tais como a do projeto desenvolvido, um T0. No caso das habitações T0, que geralmente possuem uma área reduzida, essa área bruta mínima é de 35m². Essas áreas mínimas são essenciais para garantir que os moradores tenham um espaço habitável mínimo adequado para suas necessidades básicas, proporcionando conforto e qualidade de vida, mesmo em unidades residenciais compactas, e foi a partir desse número que se criou a primeira diretriz do projeto.

Somando a isso, o RGEU também estabelece a altura mínima em construções com uso de habitação, sendo 2,4 metros de altura (geral) e de 2,2m de altura em pontos específicos que não podem ser mais de 10% da área do teto do ambiente. Essa determinação é de suma importância, pois contribui diretamente para a habitabilidade do espaço, mas também vai servir para selecionar os materiais e suas dimensões no projeto desenvolvido.

A altura mínima da habitação vai permitir uma circulação adequada do ar, uma boa entrada de luz natural e a sensação de amplitude dentro da habitação. No entanto, apesar de serem aspectos cruciais para o bem-estar dos moradores eles servem com uma limitante na escolha dos componentes dos módulos mais adiante, tendo um papel fundamental na escolha de fornecedores por exemplo. A figura 65 mostra um corte do módulo desenvolvido.

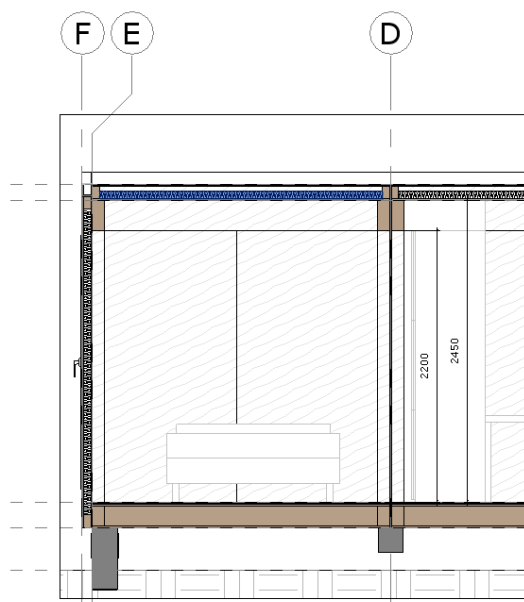


Figura 65 – Recorte de uma seção do módulo, respeitando as alturas RGEU. Autoria própria.

Portanto, o RGEU possui um papel crucial no que se refere às normas de construção de uma habitação relacionadas com a geometria e dimensões globais dos objetos a criar. Ao mesmo tempo que garante espaços habitáveis adequados e alturas adequadas, ele contribui para a escolha de determinados componentes e materiais que foram uma das bases do partido (soluções técnicas) da habitação desenvolvida.

Outra questão foi considerar as dimensões dos elementos da estrutura do módulo e seu respectivo transporte o que foi um ponto fundamental do Partido do Projeto. Escolher os padrões específicos para medidas, tem como objetivo essencial simplificar a fabricação, logística e montagem dos mesmos, gerando um processo de construção realizado em fábrica de forma muito mais eficiente.

A adoção da construção modular no partido desempenha um papel de suma importância na redução dos prazos de construção, diminuição de desperdícios e otimização dos materiais. Foi definido que o módulo-base teria a largura dos caminhões, cerca de 2,5 metros e o comprimento máximo dos elementos estruturais de madeira em 5 metros, o que permite que os módulos possam ser facilmente transportados da fábrica para o local da obra.

Para melhorar, a adoção dessas dimensões máximas do comprimento da estrutura também gera benefícios significativos em termos de custos (peças de tamanho reduzidos) e de padronização da construção. Além disso, com um transporte mais eficiente dos módulos, diminui-se a quantidade de caminhões, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa que estão relacionados com o transporte.

Essa abordagem tem como objetivo reduzir o impacto ambiental da construção, os custos, o número dos componentes e o aumento da industrialização da construção. Foi a partir desses padrões que foi definida mais uma diretriz projetual, que indica que o módulo seria do tipo 3D, construído grande parte em fábrica e com dimensões externas de 2.5m de largura por 5.0m de comprimento, ver figura 66 onde se representa uma habitação com 3 módulos.

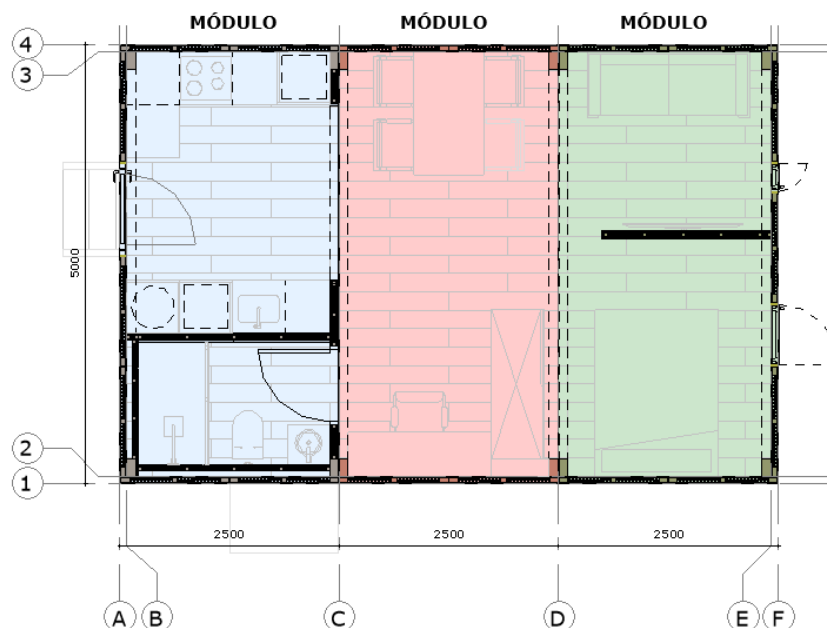


Figura 66 – Dimensões de cada Módulo em milímetros. Autoria própria.

A escolha do material foi outra diretriz do projeto. A escolha da madeira lamelada colada de abeto como material predominante na construção do projeto apresenta vários pontos positivos. A madeira de abeto é uma opção sustentável, pois se trata de madeira de florestas controladas, sendo assim renovável. Dessa maneira ela contribui para a redução da pegada de carbono, já que ela acaba por absorver e armazenar uma grande quantidade de dióxido de carbono durante o seu crescimento.

Outro ponto, é que a madeira de abeto possui propriedades de resistência muito boas, o que a vai tornar como um bom material para a construção modular. Apesar de leve, ela é resistente, ajudando assim no transporte e na maior facilidade de montagem dos módulos. Trata-se de uma maneira de fácil manuseio e a sua flexibilidade faz com que seja facilmente adaptada a diferentes projetos, possibilitando a criação de arquiteturas diferentes. Como se trata de uma madeira, ela também possui um bom isolamento térmico e acústico, gerando maior conforto e economia de energia nas construções.

Outra vantagem da madeira lamelada de abeto é o seu baixo custo devido grande disponibilidade local em Portugal, apesar de proveniente da Europa central e do Norte. A Europa possui áreas florestais com abundantes plantações de abeto, o que diminui os custos de transporte e melhora a logística associada ao seu uso. A livre circulação de materiais de origem florestal no espaço europeu, com marcação CE, permite obter estes materiais em Portugal de maneira fácil e com um preço relativamente competitivo.

De qualquer forma, é através de um método construtivo mais competitivo em relação aos demais, juntamente com o uso de bom material com preço porventura um pouco mais elevado em Portugal, que se pretendeu criar construções modulares acessíveis às classes mais baixas da sociedade.

Portanto, a escolha da madeira de MLC de abeto como material estrutural em madeira com um relativo baixo custo, ver figura 66, traz benefícios do ponto de vista ambiental e, numa perspetiva integrada com o sistema construtivo, também econômico. Suas propriedades estruturais e disponibilidade em Portugal tornam-na uma opção bastante interessante e viável para a construção de moradias de baixo custo, contribuindo para a construção de soluções habitacionais acessíveis.



Figura 67 – Exemplo MLC de Abeto, fonte [80]

A última diretriz foi a adoção do BIM no processo construtivo do projeto. Essa tecnologia faz com que se possam criar modelos virtuais tridimensionais que vão fazer a junção e comunicação das informações detalhadas sobre todos os componentes presentes do projeto. Como se trata de uma construção modular que inclui o uso de componentes e materiais geometricamente bem definidos, o BIM pode ajudar muito no processo de preparação industrial e de controle de execução da construção.

É através dessa tecnologia, por exemplo, que os profissionais que participam do processo de construção podem verificar os componentes e suas quantidades. Antes mesmo de ir à obra, a representação 3D usando o BIM identifica potenciais problemas e conflitos, em alguns pormenores construtivos, permitindo a realização de soluções em fábrica antes de iniciar a construção propriamente dita. Dessa forma, o BIM ajuda a reduzir erros e retrabalhos, melhorando a eficiência do processo e a redução dos tempos de produção e dos recursos monetários e produtivos usados.

Para complementar em uma fase pós obra ele permite uma gestão mais eficiente dos recursos durante todo o ciclo de vida do projeto e da construção. Os modelos BIM 3D vão permitir fazer um melhor planejamento dos materiais necessários, melhorando a logística na fase de obra e também o desgaste dos materiais ao longo do tempo, auxiliando em sua manutenção.

De todo o processo, acaba por resultar um uso mais inteligente dos componentes, diminuindo o desperdício e os custos associados a eventuais erros projetuais.

A figura 68 apresenta uma imagem 3D em Revit to protótipo concebido.

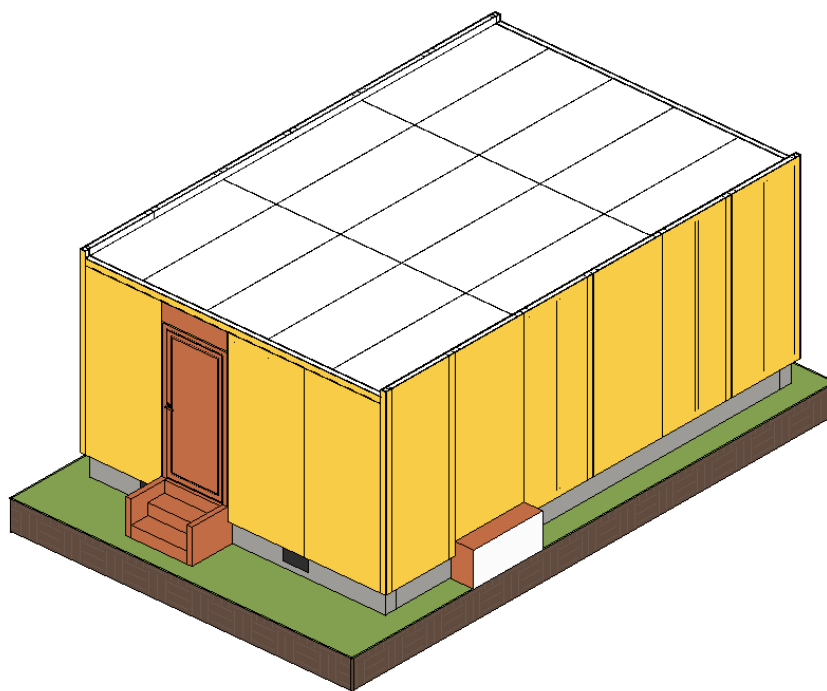


Figura 68 – Imagem do protótipo da habitação em um software BIM. Autoria própria.

Com as diretrizes do Partido do Projeto determinadas, agora é importante entender cada elemento construtivo da habitação, de forma separada, com o objetivo de melhor explicar como cada um contribui, neste projeto, para a construção de casas modulares em madeira de baixo custo.

4.3.3 FUNDAÇÕES

O método construtivo tradicional é utilizado para as fundações dos módulos da habitação, com o uso de vigas lintéis de betão armadas pré-fabricadas. Essa metodologia envolve o surgimento de uma estrutura de suporte sólida e resistente que garante a estabilidade e segurança da habitação. As vigas lintéis são pré-fabricadas em um ambiente de fábrica, partindo de técnicas de produção padronizadas, o que permite obter peças de alta qualidade e precisão dimensional.

Essas vigas são desenvolvidas para resistir a cargas verticais e distribuir elas de maneira uniforme ao longo da fundação do módulo. No projeto desenvolvido, existem apenas três tipos de vigas lintéis que totalizam um total de 6 vigas lintéis para cada habitação. A habitação desenvolvida é constituída por três módulos que vamos entender de forma clara mais adiante, mas como sabemos, cada módulo possui 2.5m x 5.0m, e eles são colocados lado a lado a partir da sua largura, logo a habitação global é constituída por 3 módulos e possui no total as dimensões de 7.5m x 5.0m.

Com isso presente, os primeiros componentes são dois tipos de viga lintel que são iguais em termos de perfil, só variam no que diz respeito ao comprimento, ver figura 68. Essas vigas são responsáveis por receber as cargas no perímetro da habitação, possuindo maiores perfis e também possuem aberturas (nas vigas de menores dimensão de comprimento) para circulação do ar do inferior da habitação a partir do uso de grelhas de ventilação. O outro componente que também é uma viga lintel presente no projeto é a que fica situada entre os módulos, com um perfil menor, pois recebe menos carga e também porque tem que permitir a circulação do ar de um lado da habitação para o outro no sentido dos 7,5 metros.

Sua construção pode ser feita em paralelo com a construção dos módulos, sem grandes problemas no que diz respeito ao tamanho dos perfis e comprimento por serem de tamanhos padrões. No entanto, devem chegar antes ao local de construção, pois são as mesmas que vão servir de base para o módulo de madeira se apoiar, já que uma das condicionantes da construção em madeira é não dever encostar no solo, por questões de durabilidade. Por isso, essas vigas também acabam por deixar a habitação mais elevada em relação ao nível do terreno, pelo menos cerca de 30 cm.

Um pequeno detalhe, que não deixa de ser fundamental, é dizer que essas vigas estão ligeiramente para o interior dos limites dos eixos exteriores da habitação, ver corte na figura 69 abaixo. Isso foi determinado para que as paredes exteriores da habitação possam descer o isolamento térmico e acústico para próximo do solo, aumentando o conforto no interior da habitação e diminuindo perdas por pontes térmicas por exemplo.

Todas as medidas dos perfis foram objeto de apoio no pré-dimensionamento por parte do orientador. As quantidades e desenhos técnicos das fundações são incluídas no anexo 02.

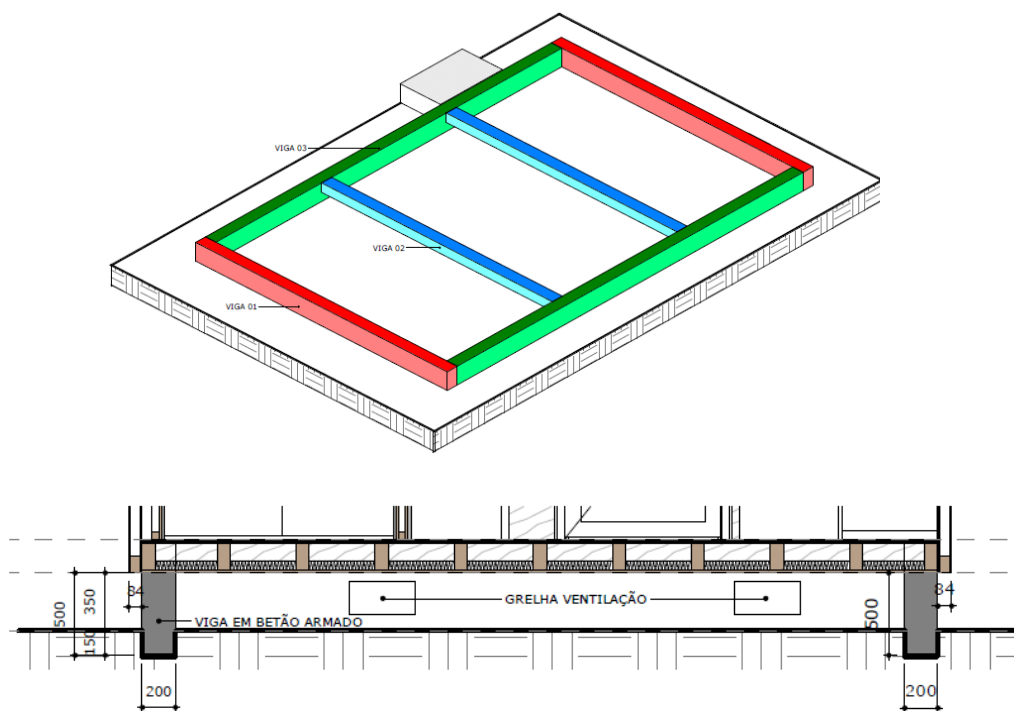


Figura 69 – 3D das Fundações com as diferentes vigas lintéis e corte com as grelhas de ventilação (dimensões em mm). Autoria própria.

4.3.4 LAJES INFERIORES E SUPERIORES

Após estudarmos de forma criteriosa as fundações, que são fundamentais para uma habitação sólida, vamos voltar a atenção agora para um novo elemento de grande importância na construção: as lajes. Neste momento, vamos além, e vamos ter um estudo detalhado das lajes, com uma metodologia que inicia pela análise da laje inferior e posteriormente se estende para a laje superior.

A solução projetada, apoia-se em ideias recolhidas na pesquisa efetuada. Através dessa análise, foi possível obter uma compreensão mais profunda das técnicas aplicadas na construção de lajes de MLC de abeto, ajudando a enriquecer o campo da engenharia civil e arquitetura com novas soluções.

Com base na diretriz do tamanho do módulo de 2.5m de largura x 5m de comprimento, foi estabelecido que uma boa solução seria a utilização de uma laje de estrutura leve de madeira, mais especificamente de MLC constituída a partir de abeto, ver figura 70. Trata-se de uma escolha estratégica pois não só atende as necessidades de resistência, como também ao de leveza para o transporte, otimizando a eficiência da técnica construtiva.

A estrutura leve é constituída por dois componentes periféricos importantes, sendo eles duas vigas de MLC de abeto, com dimensões de 16cm de altura por 10cm de largura. Esses componentes periféricos são diferentes entre si pelos seus comprimentos, já que um era para o comprimento do módulo e o outro para a sua largura. Esta configuração é fundamental para a montagem correta da laje, gerando uma maior estabilidade estrutural.

Para se adicionar aos dois componentes periféricos, há um terceiro que tem uma função crucial no sistema. Este componente possui o mesmo perfil transversal das vigas anteriores, mas seu objetivo principal é realizar o travamento. Essa peça de travamento é responsável por garantir a rigidez estrutural da laje, uma vez que as vigotas periféricas não se encontram entre si. Essa vigota auxiliar é importante para manter a integridade da laje.

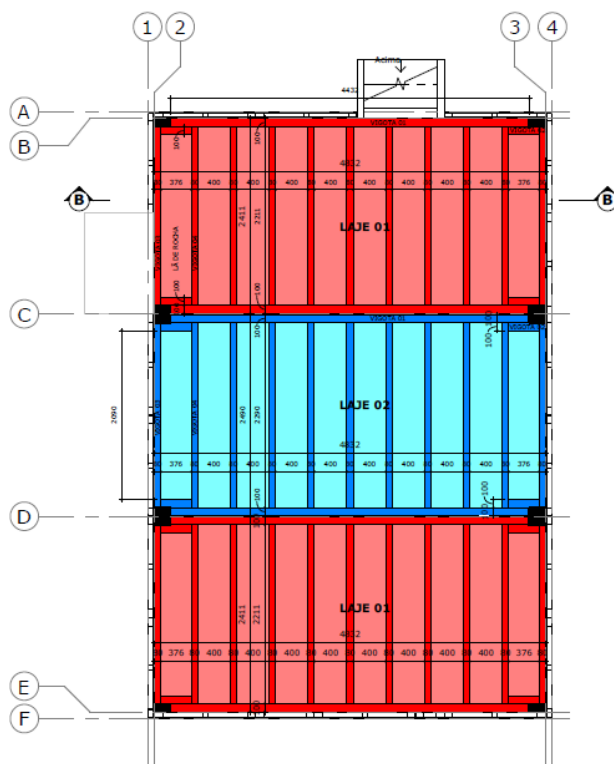


Figura 70 – Imagem da planta das lajes inferiores da habitação (dimensões em mm). Autoria própria.

Para finalizar as considerações estruturais das lajes inferiores, há um quarto componente a ser mencionado, que possui um papel importante na estrutura. Trata-se das vigotas transversais, com perfis

ligeiramente menores, medindo 16cm de altura por 8cm de largura e um espaço entre elas de 40cm. Este elemento desempenha várias funções importantes na laje, ver figura 70.

No primeiro momento, a vigota de menor perfil ajuda para aumentar a resistência estrutural e a estabilidade da laje inferior. Sua posição é estratégica bem como seu espaçamento, que junto ao sistema de vigotas periféricas, auxilia no suporte de cargas, tornando a estrutura mais resistente e capaz de suportar as cargas próprias e as sobrecargas regulamentares. Em uma etapa posterior, essa vigota desempenha um papel de servir como suporte para as novas peças que realizarão o fechamento da laje. Essas peças têm a função de proporcionar um acabamento adequado à estrutura da laje inferior, realizando seu fechamento, além de servir de base para receber os revestimentos futuros.

Ao aprofundarmos nosso estudo, é importante abordar dois elementos cruciais: o espaçamento das vigotas e os elementos de fechamento. Neste momento, iremos explorar esses assuntos com maior detalhe, entendendo sua importância e contribuição para a estrutura da laje. Vamos verificar o espaçamento das vigotas, e referir os critérios adotados para determinar a distância ideal entre elas, bem como discutir quais os elementos de fechamento utilizados, revelando suas características.

Através desse estudo mais aprofundado vamos poder compreender a influência desses aspectos na resistência, conforto térmico, acústico e acabamento da laje, permitindo assim uma melhor compreensão do desempenho do sistema construtivo como um todo.

O espaçamento entre as vigotas foi estudado e projetado levando em consideração dois aspectos cruciais. O primeiro relacionado com a resistência estrutural, para que o espaçamento entre as vigotas seja adequado para receber as cargas. Essa medida foi pré-dimensionada após análises e cálculos estruturais iniciais feito pelo orientador para assegurar a integridade da construção.

O segundo ponto considerado foi a minimização da perda de material que faz o isolamento. Neste caso, a lâ de rocha foi escolhida como material isolante (60mm de espessura). A lâ de rocha apresenta características interessantes para o estudo, como sua boa capacidade de isolamento térmico e acústico, resistência ao fogo e baixo custo em geral. Com o objetivo de otimizar o uso desse material isolante, o espaçamento entre as vigotas foi estabelecido em 40cm.

Essa medida foi escolhida porque os rolos de lâ de rocha presentes no mercado possuem uma largura padrão de 120cm. Logo, ao utilizar um espaçamento de 40cm, praticamente não ocorre desperdício do material isolante, uma vez que ele pode ser posicionado de maneira eficiente entre as vigotas com 3 cortes em cada rolo, sem qualquer desperdício. Uma abordagem que contribui para o total aproveitamento de cada rolo deste material e para a sustentabilidade do projeto.

O fechamento da parte inferior e superior da laje é utilizando painéis de OSB (Oriented Strand Board) com espessura de 15mm. As placas disponíveis no mercado possuem as dimensões de 1,25 *2,5 m² o que determina o preenchimento exato das dimensões do módulo de 5,0m de comprimento x 2.5m de largura, usando 4 placas em cada lado da laje. A escolha da espessura dos painéis de OSB foi baseada nas especificações fornecidas pelo catalogo fabricante, garantindo seu uso a resistência necessárias para esta aplicação em termos de resistência mecânica e controle da deformação.

Os painéis de OSB apresentam alguns pontos positivos que os fizeram tornar uma opção vantajosa para o fechamento da laje. No primeiro momento, eles possuem resistência mecânica e estabilidade dimensional de acordo com os catálogos e estudos efetuados, mantendo sua integridade ao longo do tempo e diminuindo a necessidade de manutenção. Além disso, eles possuem uma superfície lisa e uniforme, o que facilita o posicionamento de revestimentos adicionais, tais como pintura, acabamento

decorativo ou outros materiais, que no caso deste projeto, inclui a aplicação na parte inferior da laje de uma pintura para proteção contra a umidade.

Para finalizar com a questão das lajes inferiores, é possível observar a presença de dois tipos distintos de lajes no módulo central e nos módulos laterais, ver figura 71. Esses dois tipos ocorrem devido a uma variação devido a pequenas diferenças no tamanho da largura em relação à malha e aos eixos estabelecidos. Essa diferença se faz necessária para acomodar o posicionamento do isolamento exterior, diferentemente da laje superior que não possui contato exterior no seu eixo transversal.

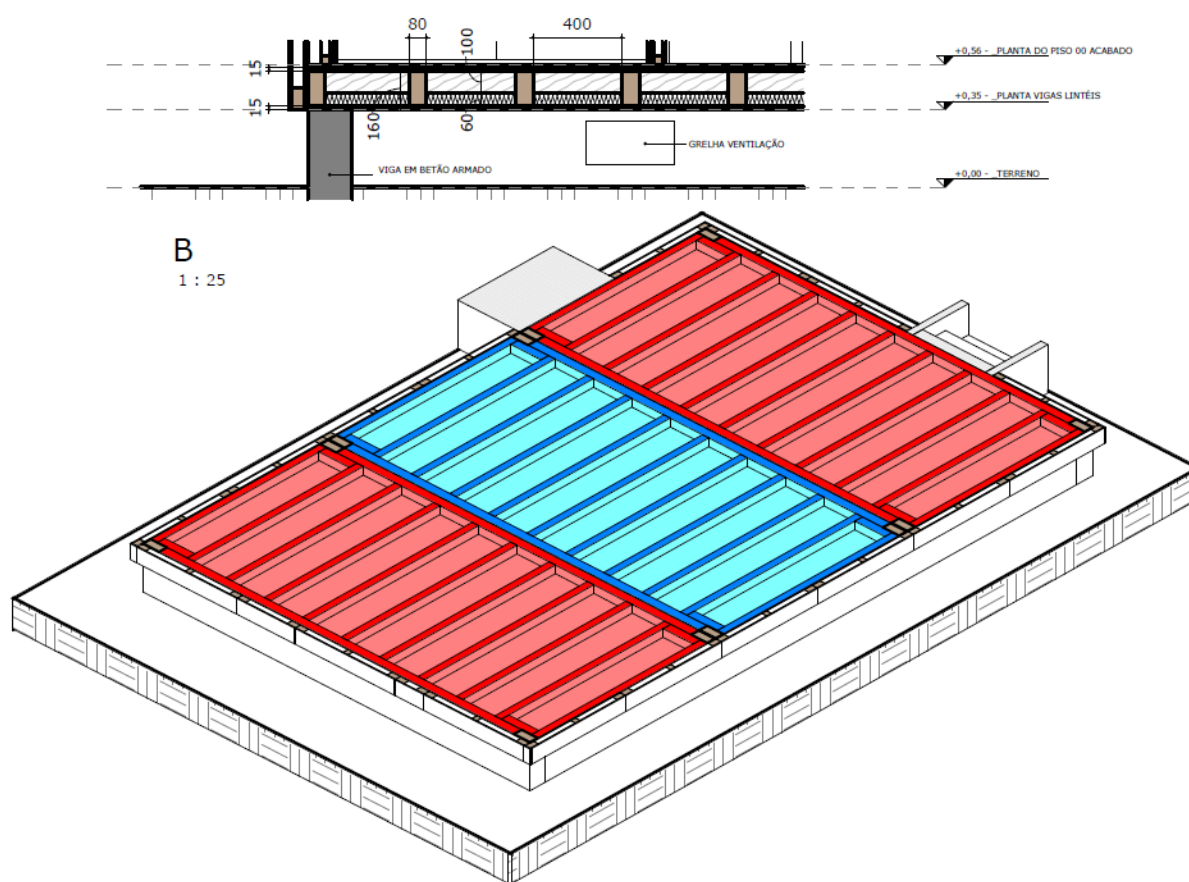


Figura 71 – Imagem 3D e corte das lajes inferiores da habitação (dimensões em mm). Autoria própria.

A mesma lógica adotada para as lajes inferiores também se aplica às lajes superiores, porém com duas pequenas diferenças distintas. Essas diferenciações são incorporadas ao projeto das lajes superiores para atender a requisitos específicos relacionados com o respectivo posicionamento na construção.

Nas lajes superiores, ver figura 72, existem duas pequenas diferenças em relação às lajes inferiores. A primeira diferença associa-se ao tamanho dos perfis das vigas, que agora possuem apenas um tipo de perfil e que são menores, medindo 10cm de altura por 6cm de largura, dado que a sobrecarga regulamentar em coberturas é substancialmente menor. Essa redução de tamanho é resultado assim da

diminuição das cargas aplicadas na laje de MLC, uma vez que agora sua função é apenas receber a carga dos elementos de cobertura e uma menor sobrecarga. Essa nova altura e largura das vigas reflete garante a resistência necessária e permite uma diminuição de custos associada à menor dimensão das peças.

A segunda diferença nas lajes superiores é a ausência das pequenas vigotas auxiliares que eram utilizadas no fechamento das vigas principais da periferia. Isso vai ser presenciado devido ao fato de que o pilar não corta mais a laje, o que permite que as vigotas periféricas se encontrem diretamente e façam o fechamento da laje, sem necessidade de deixar espaço para a passagem dos pilares. No entanto, em relação às outras questões, como o recuo para posicionamento do isolamento exterior, a lógica adotada para as lajes inferiores permanece a mesma.

Ainda é considerado as dimensões dos espaçamentos das vigotas por exemplo, que são ajustados para atender aos requisitos de redução de desperdício de materiais com o isolamento térmico em lâ de rocha.

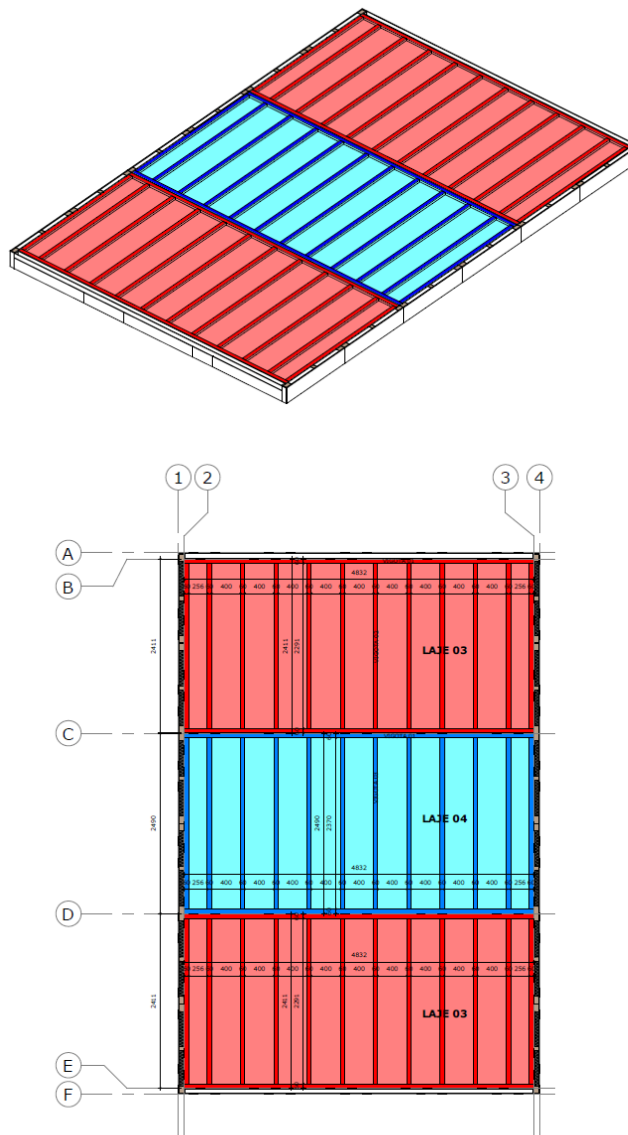


Figura 72 – Imagem 3D e plantas das lajes superiores da habitação (dimensões em mm). Autoria própria.

4.3.5 PILARES E VIGAS

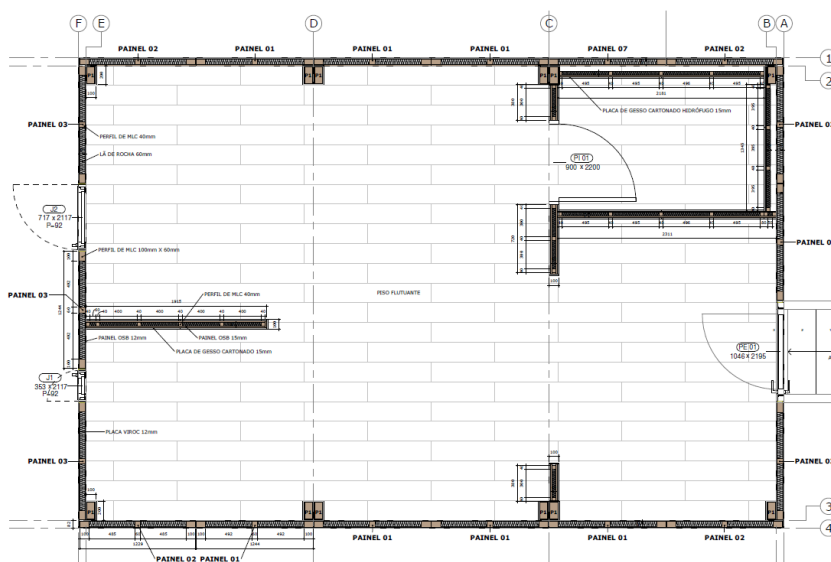
O projeto de habitação modular de baixo custo requer a consideração cuidadosa de diversos componentes construtivos fundamentais para garantir a resistência estrutural, e um desses componentes essenciais são os pilares. Neste texto, discutiremos como os pilares foram escolhidos, principalmente em relação ao material, suas quantidades, dimensionamento e posicionamento nos módulos e nas habitações.

A escolha do material do pilar foi o MLC de abeto, pelas razões atrás expostas.

Com base nas premissas atrás mencionadas e considerando a dimensão do módulo, foi projetado um total de 4 pilares de MLC de abeto por módulo. Cada pilar é posicionado em cada ponta do módulo, totalizando 12 pilares para uma habitação composta por 3 módulos. Esses pilares possuem o mesmo perfil de 20cm de comprimento x 10cm de largura, ver figura 72.

A localização dos pilares é de importância estratégica neste projeto. Eles são posicionados pelo interior dos painéis que compõem as paredes exteriores da habitação, com recuo em relação às áreas externas do eixo de cada módulo. Essa posição permite que os pilares apoiem diretamente nas vigas linteais posicionadas logo abaixo. Para complementar eles desempenham um papel fundamental para o suporte dos painéis da fachada, por meio de ligações metálicas. A solução de fachada proposta, descrita mais à frente, só é possível devido ao posicionamento escolhido para os pilares.

Outro aspecto importante é que os pilares, além de sua função estrutural, também possuem um papel estético no projeto. Eles dividem de forma visual os ambientes interiores da habitação, ajudando na organização e definição dos espaços. A beleza arquitetônica presente na madeira de abeto utilizada na constituição dos pilares também é destacada, e eles se tornam elementos expostos, dando mais valor estético à construção. Portanto, os pilares de MLC de abeto desempenham algumas funções na habitação modular de baixo custo. Além do suporte estrutural, permitem concretizar a solução de fachada proposta, dando bases para ligação dos painéis de canto e contribuem para a estética do projeto.



são dimensionadas de acordo com a necessidade estrutural desta construção. Existem três tipos de vigas: uma viga no sentido longitudinal, outra no sentido transversal e outras também transversais nos módulos de largura inferior. A diferenciação de acordo com o comprimento é para atender às exigências de posicionamento em diferentes direções.

O perfil das vigas é de 25cm de altura x 10cm de largura, em um total de 4 vigas por módulo ou seja 12 vigas por habitação. gerando assim uma imagem de vigas esbeltas do ponto de vista estético. A estética é um aspecto fundamental a ser considerado, já que elas também ficarão expostas no interior da habitação. Para além de contribuírem com a estética, elas desempenham um papel crucial para outros componentes do projeto como no apoio dos painéis da fachada, da laje superior e elementos da cobertura. A parte inferior das vigas é posicionada a 2,2 metros de altura do piso pronto, em conformidade com as leis estabelecidas pelo Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU).

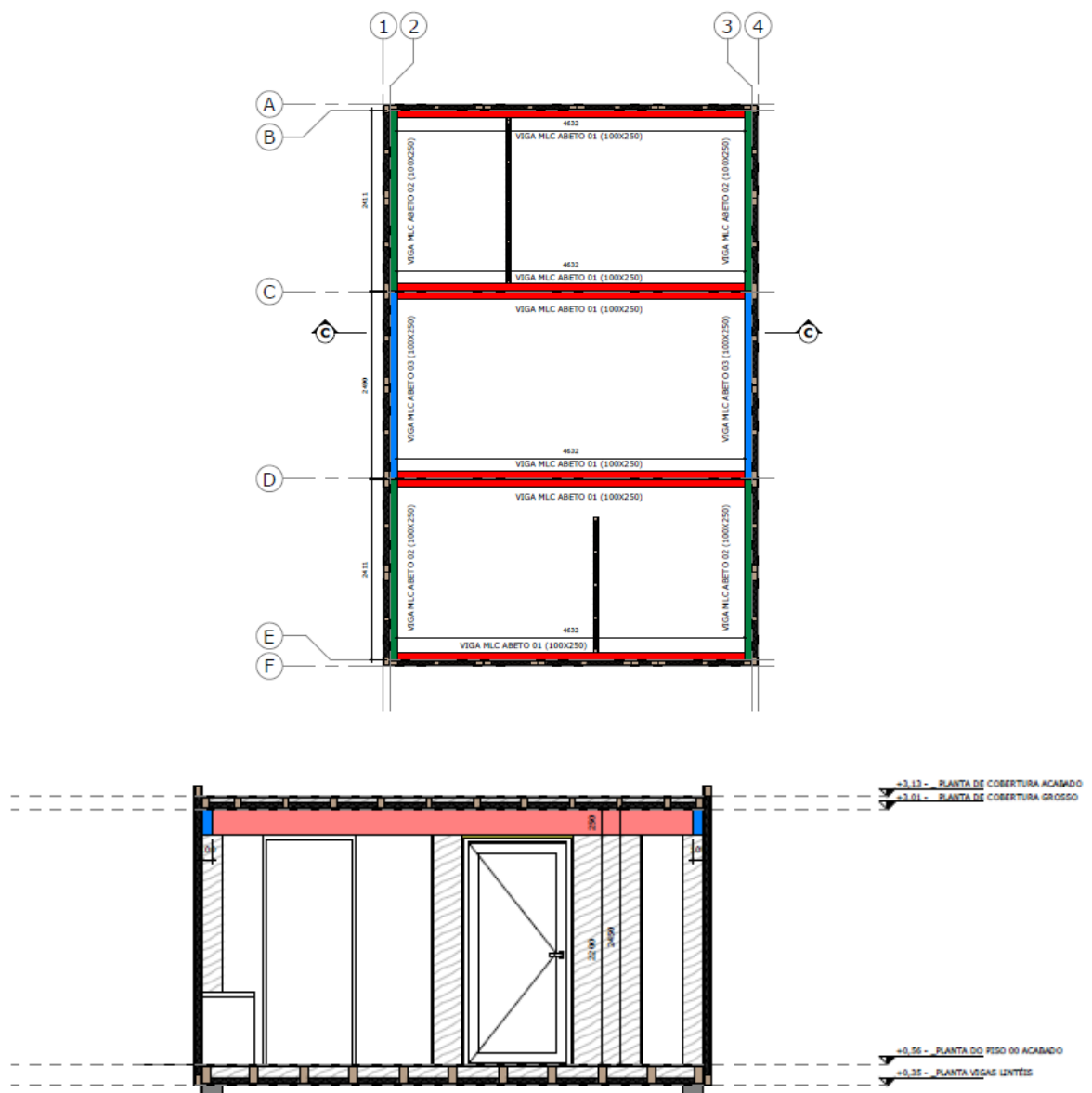


Figura 74 – Imagem da planta e corte com posicionamento das vigas (dimensões em mm). Autoria própria.

4.3.6 PAREDES EXTERIORES

As paredes exteriores desempenham um papel importante na construção das habitações modulares, proporcionando o isolamento térmico, proteção contra as ações da natureza, e a beleza arquitetônica. O sistema das paredes exteriores foi projetado levando em consideração vários aspectos importantes, tais como o uso de materiais sustentáveis, a escolha de dimensões que reduzem o desperdício, a integração adequada com os demais componentes do protótipo, o bom desempenho térmico e acústico, e a escolha de um revestimento exterior que proporciona uma excelente qualidade estética arquitetônica, ver figura 75.

O protótipo proposto para habitações modulares de baixo custo possui diversas características interessantes e novas para a construção. As suas dimensões foram pensadas para minimizar o desperdício durante a fabricação e montagem, bem como seguir a métrica do projeto, aproveitando-se da precisão da construção modular e reduzindo os custos de produção.

O estudo também se destaca pelo bom desempenho térmico e acústico, graças ao uso de camadas isolantes de alta qualidade que possuem dimensões que evitam o desperdício e garantem menor transferência de ruídos e temperaturas, gerando um ambiente confortável e silencioso para os habitantes. Além disso, pensando na estética arquitetônica, foram utilizados revestimentos exteriores escolhidos para criar uma aparência agradável e harmoniosa, com qualidade para as habitações de baixo custo que geralmente não possuem isso.

As paredes externas são painéis são componentes no quais definem os eixos exteriores do protótipo desenvolvido. Tais elementos desempenham um papel de limitar e definir a estrutura da habitação modular desenvolvida. No estudo desses painéis, foi adotado um método de minimização de variantes, ou seja, buscou-se fazer a diminuição do número de diferentes tipos de painéis utilizados. Isso proporciona benefícios significativos para a indústria da construção, como sintetização do processo de fabricação, otimização dos custos e facilitação na montagem.

Para ajudar ainda mais, a redução de variantes contribui para uma maior padronização do sistema, facilitando possíveis expansões e modificações futuras do protótipo. A seleta escolha dos materiais e cores permitiu criar uma aparência esteticamente agradável e em linha com o estilo arquitetônico proposto. O design dos painéis ajudou para composição dos vãos exteriores, como portas e janelas, gerando uma integração harmoniosa entre os elementos arquitetônicos e as paredes exteriores. Para finalizar, os painéis também influenciaram na solução de drenagem da cobertura feita. Por meio de um projeto pensado numa base geométrica, foi possível conceber os painéis que ajudam a direcionar a água da chuva junto com os ventos de maneira eficiente, evitando problemas de infiltração e garantindo a durabilidade e integridade da estrutura.

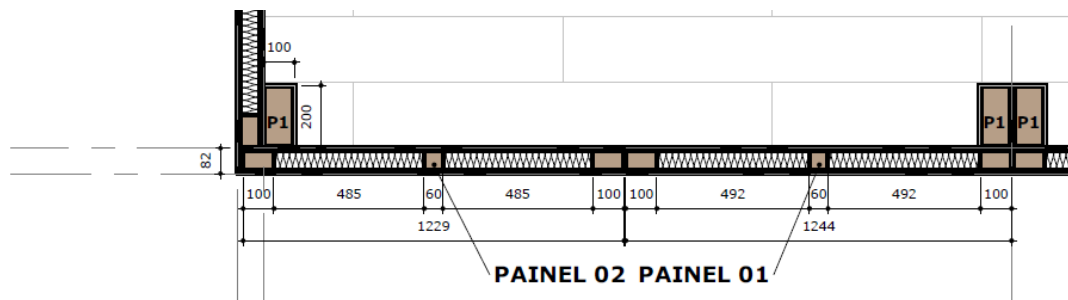


Figura 75 – Imagem em planta de uma região com os painéis da fachada (dimensões em mm). Autoria própria.

Um dos elementos da parede do módulo é o painel OSB de 12mm. Esse elemento possui as dimensões de 1,25m de largura por 3m de altura e desempenha algumas funções para o sistema construtivo. Além disso, ele é o único elemento que não faz parte do conjunto de elementos que compõe os painéis exteriores.

No primeiro lugar, o OSB vai fazer a vedação dos ambientes internos da habitação em relação ao exterior. Atuando como uma barreira física, ele evita a entrada de ar, e a humidade eventualmente proveniente dos demais elementos externos. Seu papel é importante para garantir o conforto e segurança dos ocupantes.

Seu segundo papel, é servir de apoio para os painéis exteriores que serão explicados posteriormente. Sua base sólida e resistente permite a fixação segura dos painéis externos, garantindo a estabilidade em conjunto com a estrutura do módulo. Para complementar, a face interior do painel OSB é a superfície que receberá pintura ou outro tipo de acabamento, caso o habitante da habitação deseje personalizar o ambiente. Dessa maneira existe uma maior flexibilidade estética, logo permite que cada ocupante coloque seu estilo e preferências de personalização interna.

É importante salientar que as dimensões do painel OSB de 12mm não foram adotadas aleatoriamente, mas de acordo com uma base em considerações estudadas para que houvesse uma congruência com outros elementos e os módulos da habitação como um todo. A espessura escolhida do painel OSB foi de acordo tanto com as especificações dos fabricantes quanto com a mesma medida do painel Viroc, que também compõe a fachada pelo lado exterior. Optar pelas mesmas espessuras proporciona um padrão que simplifica o processo de produção, uma vez que os materiais podem ser trabalhados de maneira semelhante.

Quanto à largura do painel, ela foi escolhida como a metade da largura do módulo de 2.5m. Essa escolha tem uma visão de garantir a proporção visual e contribui para a estética geral da habitação modular. Além disso, a padronização com a largura do módulo simplifica o encaixe e a montagem dos painéis, tornando o processo mais eficaz (4 placas por alçado), ver figura 76. Em relação à altura, o painel OSB foi desenhado ligeiramente menor que a altura do edifício. A decisão tem como objetivo minimizar o desperdício de material, garantindo que haja o aproveitamento quase máximo do painel durante a construção em fábrica, com dimensões parecidas com as dimensões comerciais de cada placa.

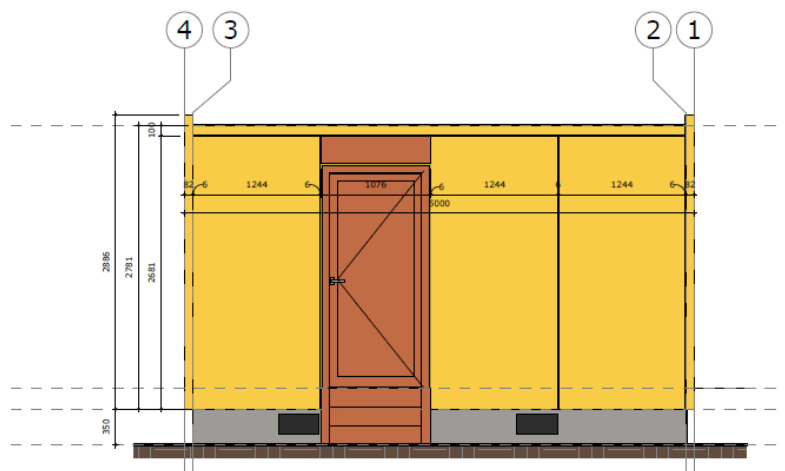


Figura 76 – Imagem em alçado com os painéis da fachada (dimensões mm). Autoria própria.

Os painéis das fachadas exteriores do módulo da habitação são compostos por diferentes elementos que são organizados de forma estratégica ao longo da habitação. Cada um de seus elementos possui um papel específico na estética e função. Os elementos que a compõe é o painel Viroc, a estrutura de madeira para fixação dos painéis Viroc sobre os painéis OSB e estrutura do módulo. Para finalizar usa-se a lâ de rocha presente nos vãos de madeira que compõem o módulo para fazer o isolamento térmico e acústico, ver figura 75.

Em primeiro lugar, o fator do custo teve um papel importante na seleção do Viroc. Ao desenvolver um projeto de habitação modular em madeira, é importante buscar materiais acessíveis que se encontram no mercado disponíveis em abundância e com empresas habituadas a usá-los também existentes em abundância. O Viroc é nomeadamente um material de custo relativamente baixo em comparação com outras opções de revestimento de fachada. Essa vantagem tornou o Viroc uma escolha interessante, permitindo contribuir para a viabilização financeira do projeto para ser usado num projeto de “baixo custo”.

No entanto, a seleção do Viroc não é apenas devido ao seu custo. A facilidade de instalação também desempenhou um papel importante na escolha desse material. A solução de construção modular em madeira projetada requer materiais que possam ser facilmente instalados e aplicados na sua estrutura modular base. O Viroc, devido às suas características de fabricação, pode ser instalado em fábrica de forma relativamente simples sobre os painéis de madeira de OSB e pilares e vigas de MLC do módulo. Essa compatibilização de aplicação foram considerações cruciais que garantem a eficiência e agilidade do processo da construção. Vale ressaltar que a distância entre os painéis Viroc na vertical é de 5mm, e no projeto usa-se 6mm para padronização das peças, ver figura 77.

Outro fator determinante para a sua escolha como revestimento exterior da fachada do módulo foi a compatibilidade de suas dimensões com os painéis OSB mencionados anteriormente e o módulo em si. O Viroc apresenta medidas de 1,25m de largura por 3,00m de altura e 12mm de espessura, as mesmas dos painéis OSB. Essa dimensão contribui para a padronização do projeto e a redução do desperdício de materiais.

Com as dimensões idênticas, o VIROC pode ser facilmente encaixado e fixado, resultando em uma montagem mais eficiente do protótipo. Para finalizar, o Viroc oferece uma série de cores que permitem

ao arquiteto explorar combinações e jogos de cores para melhorar a estética da construção. Essa variedade de opções de cores gera uma liberdade criativa no design, gerando a criação de um visual único para cada projeto.

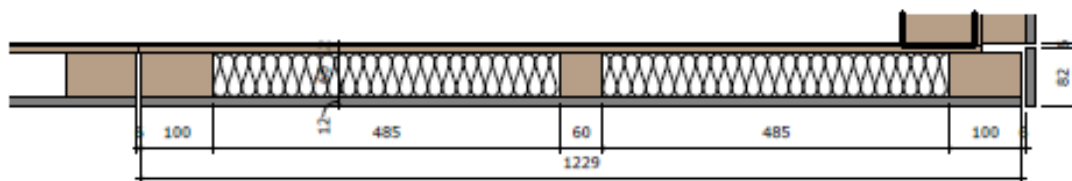


Figura 77 – Imagem em planta de um tipo de painel da fachada, com dimensões do Viroc (mm). Autoria própria.

A estrutura de madeira do painel é feita por perfis de MLC de abeto, que possuem um papel de fixação e suporte do Viroc. Esses perfis possuem duas seções distintas com tamanhos diferentes. A primeira seção está ligada aos perfis localizados na borda do painel de Viroc e possui uma largura de 10cm e uma profundidade de 6cm. A largura mínima de 10cm é projetada pela necessidade de fixação dos parafusos no perfil com segurança, o que requer uma distância mínima de 5cm contados a partir da borda do perfil de madeira.

A profundidade dos perfis é devido à espessura mínima necessária para a fixação do sistema e também devido à espessura do isolamento térmico de lã de rocha. A profundidade de 6cm fornece uma fixação segura e estável do revestimento de Viroc, de acordo com os fornecedores, garantindo sua integridade estrutural. Para finalizar, a profundidade possui a mesma espessura do isolamento térmico de lã de rocha ajudando na eficiência construtiva.

Além dos perfis periféricos, o painel também possui um perfil interno localizado no eixo do painel, responsável também pela fixação e sustentação do mesmo. Diferentemente dos perfis de borda, esse perfil interno não precisa ter a largura de 10cm, devido a questões do fabricante.

Portanto, trata-se de um perfil de tamanho menor para economizar custos. A presença é necessária devido às especificações dos fornecedores em relação à fixação do painel. Os parafusos de fixação devem estar espaçados com no máximo 60cm, tanto em comprimento quanto em largura. Portanto, o perfil é projetado levando em consideração essas diretrizes, necessárias à estabilidade e à resistência mínimas do painel.

O isolamento térmico em lã de rocha é o último elemento presente para ser comentado. Sua espessura geralmente é de 60mm, equivalente a 6cm, espessura disponível e corrente na maioria dos fornecedores desse tipo de material. Essa espessura é necessária para garantir um bom desempenho do isolamento, contribuindo para a eficiência térmica da parede no sentido de manter a temperatura interna confortável, sem necessidade de recorrer a equipamentos de ar condicionado, completamente incompatíveis com a orientação “low-cost” deste projeto.

Um fato importante do isolamento em lã de rocha é que a sua espessura corresponde ao vão onde é instalado no painel. Isso foi estudado para que ela preencha completamente o espaço disponível, maximizando a eficiência dos espaços na construção modular. Além disso, a largura do vão no projeto, varia entre 45 a 49 cm, o que permite a utilização de lã de rocha vendida em rolos de 1m de largura, com aproveitamento quase total. Essa correspondência entre a largura do vão e a largura do rolo de

isolamento diminui assim quase totalmente o desperdício de material, dado que o rolo pode ser cortado de maneira fácil e ajustado para as dimensões do vão sem sobras significativas, ver figura 78.

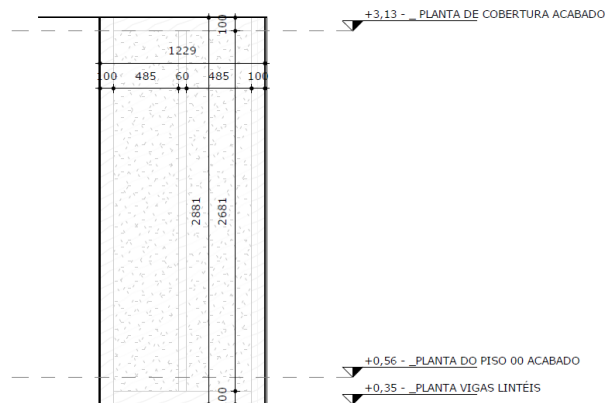


Figura 78 – Imagem corte de um tipo de painel da fachada, com os perfis de remate da lã de rocha (dimensões em mm). Autoria própria.

O conjunto do painel é composto por diferentes elementos que, embora apresentem semelhanças, também possuem pequenas diferenças que devem ser explicadas. No entanto, é importante ressaltar que essas diferenças foram cuidadosamente consideradas para garantir a facilidade de industrialização da construção modular.

O primeiro painel é o maior dos painéis, porque possui uma altura maior para criação de uma platibanda que formará um corredor de vento, promovendo o escoamento das águas. Essa altura adicional tem a finalidade de garantir um bom desempenho no escoamento de águas pluviais de forma natural sem pendente. Além disso, quando duas habitações forem posicionadas lado a lado, esses serão unidos paralelamente. Dessa maneira vai ser posicionado um rufo metálico no topo dos painéis com função de fornecer uma camada adicional de proteção contra a entrada de água, a partir do topo dos módulos.

O segundo painel possui uma pequena variação do primeiro na região inferior para passagem das águas residuais do projeto. Foi uma solução encontrada para que as instalações hidráulicas fossem feitas em fábrica e somente fosse necessário executar em obra a ligação com as caixas de ligação às redes públicas.

O terceiro painel apresenta uma característica peculiar, pois existe um pequeno painel de Viroc localizado de forma perpendicular aos demais, tanto no alçado frontal como no de tardo. Esse painel com menores dimensões desempenha o papel de remate nos cantos da construção, sendo uma solução para fixar os parafusos da borda da habitação à estrutura. Para complementar a função estrutural, essa solução também contribui para o design arquitetônico da obra.

O quarto painel é igual ao demais em questões de largura, no entanto, como é posicionado no alçado frontal ou tardo, ele em sua zona superior possui uma calha, portanto ele além não possui a altura para platibanda e inclusive vai ser mais cortado ainda um pouco mais para instalação de uma calha para escoamento das águas pluviais nas duas empenas.

O quinto e sexto painel são diferentes dos demais, por possuírem larguras, alturas e cores diferentes. Isso ocorre, pois são estes que vão fazer os remates superiores e inferiores dos vãos externos da

habitação. Para concluir, sua cor é diferente como uma solução de design arquitetônico que pode ser explicado nas imagens a seguir, ver figura 79.

A solução mais econômica para as portas e caixilhos do módulo foi a adoção do uso de alumínio. O alumínio é um material de baixo custo em comparação com os demais como o PVC ou a madeira. As portas são revestidas em seu interior com isolamento térmico adequado. As janelas são do tipo oscilo batente, com vidro duplo para melhorar o isolamento acústico e térmico. Essa combinação de materiais e características proporciona uma solução mais eficiente, viável e adequada para o protótipo.

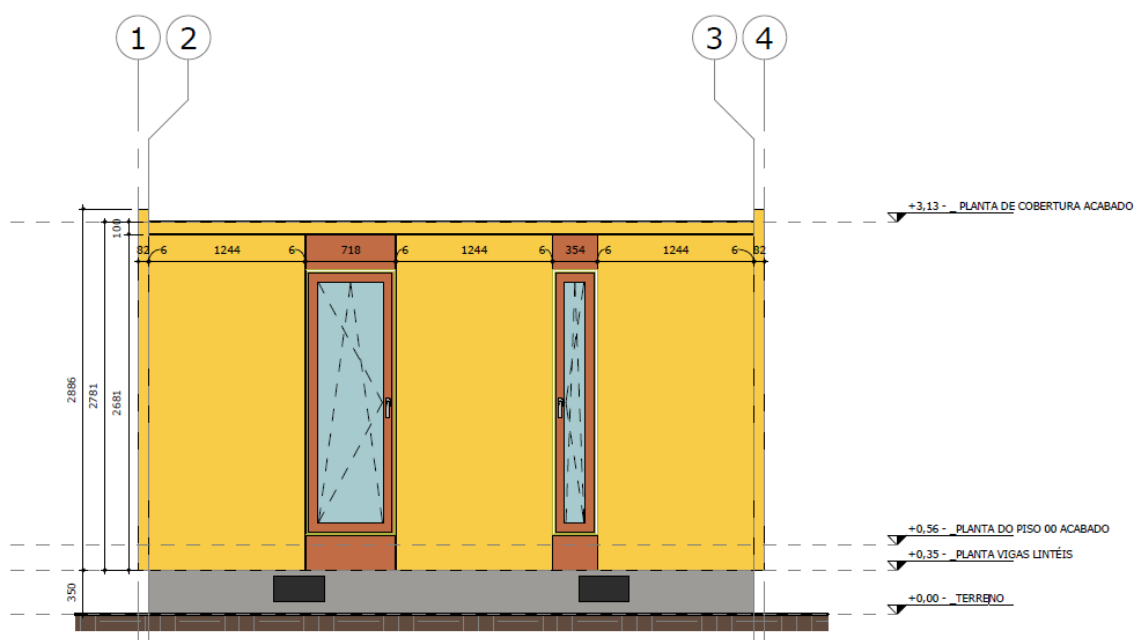


Figura 79 – Imagem de um alçado da habitação, com os diferentes painéis (dimensões em mm). Autoria própria.

4.3.7 PAREDES INTERIORES

No protótipo da habitação modular, foi projetado um layout de espaços interiores "open concept", onde a maioria dos espaços não possui divisórias internas, gerando assim uma sensação de amplitude do espaço. No entanto, algumas paredes foram instaladas para atender a necessidades do projeto. Uma das áreas em que as paredes foram instaladas é o banheiro, o qual necessita de privacidade e separação das instalações hidráulicas. Essas paredes fazem a delimitação do espaço do banheiro, permitindo o uso adequado dos sanitários, chuveiro e lavatório, para além de fornecer a privacidade e espaço necessários.

Além disso, essa mesma parede, espelhada do outro lado, também exerce função de suporte para a cozinha. Essa auxilia no suporte dos armários da cozinha e as instalações hidráulicas do ambiente, como pias e torneiras. As concentrações sanitárias nessa zona, quanto da cozinha como no banheiro, acaba por ajudar na diminuição dos custos, ver figura 80.

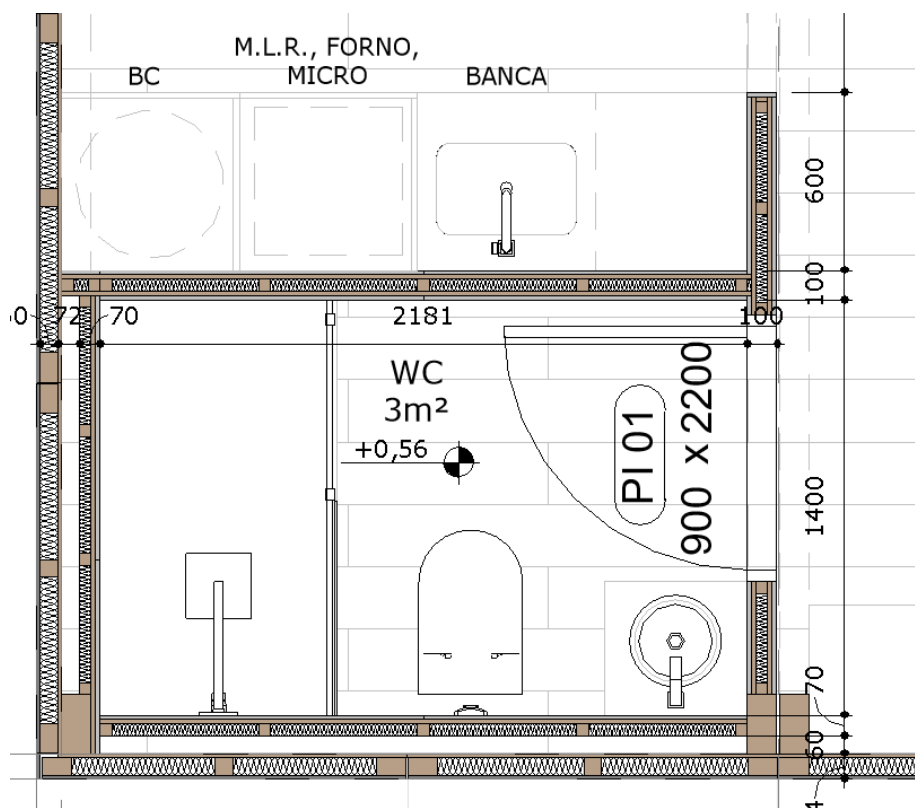


Figura 80 – Imagem em planta de parte da habitação, com paredes internas (dimensões em mm). Autoria própria.

Somando as paredes do banheiro e da cozinha, há uma terceira parede que existe dentro da habitação modular.

Essa parede desempenha a função de uma semi-divisória entre a sala de estar e o quarto, proporcionando uma melhor organização dos espaços e organizando claramente as funções de cada ambiente. Dessa maneira ela surge como um suporte ideal para a instalação da televisão, ver figura 81, e de equipamentos de comunicação, como roteadores de internet. Sua localização em projeto permite que tanto a sala de estar quanto o quarto possam desfrutar de tais instalações, podendo assim gerar entretenimento para os moradores em ambos os locais do projeto.

Assim, apesar da diretriz do layout geral da habitação modular ser de "open concept", a instalação mínima de paredes nessas áreas específicas contribui para a organização espacial, privacidade e função de cada espaço, atendendo às necessidades de seus moradores.

As paredes internas da habitação desenvolvida são compostas por diferentes camadas de materiais que oferecem resistência, isolamento acústico e soluções para acabamento adequados.

Iniciando de fora para dentro, a primeira camada é constituída por placas de gesso cartonado. O gesso cartonado é um material resistente, leve, de custo reduzido e de fácil instalação e manutenção e de abundante uso em Portugal. Esse material, constitui a camada exterior da parede, e com o devido preparo, vai ser deixado para receber pintura ou demais acabamentos.

O gesso cartonado foi escolhido como o material para as paredes internas da habitação modular considerando fatores como a padronização, a redução de desperdício e a fácil instalação. Suas dimensões padrões de fábrica foram escolhidas de maneira que estejam de acordo com as demais peças do projeto, garantindo uma integração o mais possível total entre os componentes presente no projeto.

Com uma espessura de 15mm, a largura de 1,20m e altura de 2,50m foram as peças selecionadas para atender às necessidades do projeto, permitindo uma montagem das peças eficiente na indústria e acabando por minimizar o desperdício de material durante a fase de construção. Com as dimensões padronizadas do gesso cartonado escolhidas, gera-se uma maior precisão na construção das paredes internas, proporcionando um encaixe e fixação correta das peças. Vale lembrar que as placas do banheiro são hidrófugas.

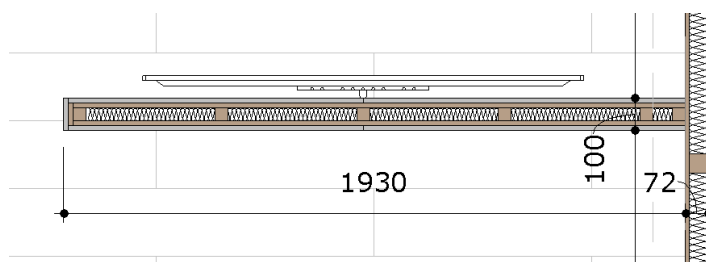


Figura 81 – Parede interna na região da TV (dimensões em mm). Autoria própria

Em seguida, temos presente os painéis OSB, que foram adicionados para garantir uma maior estabilidade às paredes internas e melhorar o isolamento acústico. Sempre seguindo a padronização da construção, eles possuem a mesma espessura das placas de gesso, e dimensões de 5,0m x 2,5m que são cortadas pela metade ou $\frac{1}{4}$ do tamanho, também evitando ao máximo o desperdício de material.

Para fazer o suporte dessas placas, no interior das paredes existem perfis de MLC de abeto, como suporte para as placas de gesso cartonado e também dos painéis OSB. São os perfis que proporcionam a estabilidade bem como a fixação necessária das camadas externas, fazendo a integração do conjunto das paredes. Esses perfis, como recebem pouca carga, possuem dimensões de 40mm x 40mm.

No interior dos vãos das paredes pelos perfis de MLC de abeto, é posicionada a lã de rocha como isolamento acústico. As dimensões entre os perfis verticais de MLC de abeto possuem larguras de 30cm, 40cm ou 49,5cm dependendo da parede. Com essas dimensões e sabendo que existem rolos de lã de rocha com 1m e 1,2m, há um grande aproveitamento do material também nesse componente da construção, ver figura 82.



Figura 82 - Lã de rocha em rolo, que pode ser usado nas paredes internas – Fonte [80]

4.3.8 COBERTURA

A solução da cobertura foi analisada e discutida de diversas maneiras durante o projeto da habitação modular. Um dos aspectos principais estudado foi a inclinação adequada para o escoamento das águas pluviais. Além disso, questões como os locais estratégicos para a instalação das calhas e tubos de queda, permitindo o direcionamento adequado da água, foram também consideradas.

A integração desses elementos na estrutura modular foi projetada para evitar problemas de infiltração e vazamentos para o interior da construção. Para finalizar, a escolha do local ideal para realizar essa etapa, em fábrica ou na obra, dependeu do material e solução, buscando sempre a melhor qualidade de execução.

Foi estudado e projetado uma criação de um corredor de vento como a melhor solução para o escoamento das águas da cobertura, já que a criação de pendentes acarretaria um elevado aumento de custos. Tal decisão partiu assim da aplicação do princípio de maior facilidade de instalação e construção, diminuindo complicações e reduzindo a necessidade de mão de obra altamente qualificada. Com as pequenas dimensões da habitação e com base em um pré-estudo das características físicas da água, foi possível perceber que o vento pode desempenhar um papel importante no escoamento. Quando parte da água se aproxima da calha, ocorre uma queda natural por gravidade das gotas. As propriedades físicas da água, como a tensão superficial, geram um efeito de movimento das moléculas próximas que são atraídas para o exterior, formando uma pequena corrente de escoamento.

Dessa maneira, esse corredor funciona como um canal de escoamento, que é impulsionado pela ação do vento, direcionando as gotas de água para a calha e depois para os tubos de queda. A solução aproveita os recursos naturais, possibilitando um processo de escoamento mais eficaz e diminuindo possíveis problemas de acumulação de água na cobertura. Para complementar, essa abordagem simplifica a instalação e manutenção do sistema de escoamento, uma vez que não existem estruturas complexas ou dispositivos adicionais.

A integração inteligente do corredor de vento na concepção da cobertura proporciona uma solução prática e funcional para garantir o adequado escoamento das águas pluviais sem necessidade de recorrer a pendentes, ver figura 83.

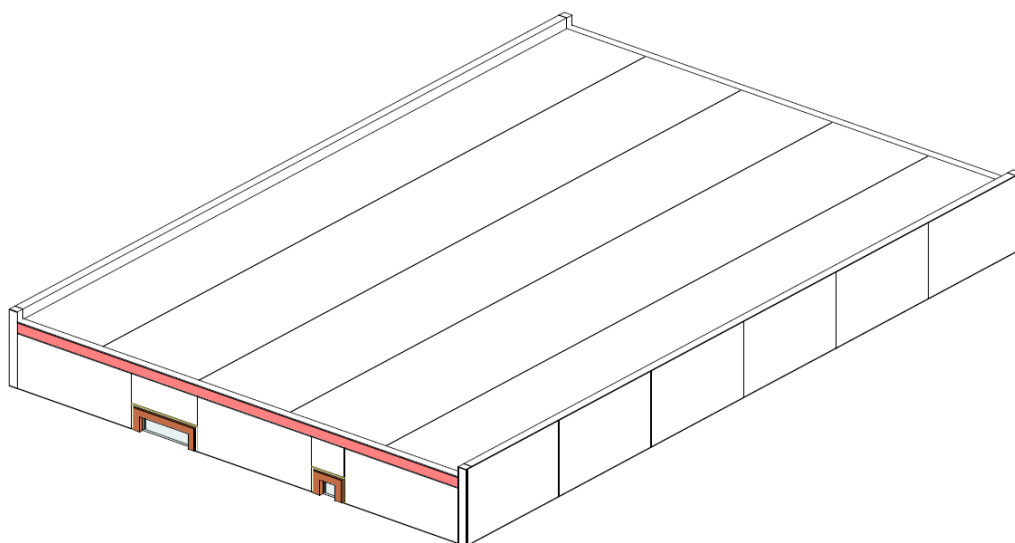


Figura 83 - 3D da cobertura, calha metálica em rosa e telas de PVC no sentido longitudinal. Autoria própria.

O corredor de vento, que vai ser o responsável pelo escoamento das águas pluviais, é gerado pelos painéis exteriores dos alçados laterais, já que são detentores de uma altura maior. Essa configuração permite a criação do corredor que vai direcionando a água para uma das fachadas que não possui outros edifícios adjacentes como a frontal ou posterior, melhorando o acesso à calha e aos tubos de queda, facilitando a manutenção do sistema.

Os painéis laterais, que podem ser encostados a outros de maneira espelhada com os painéis da habitação vizinha, permitem o fácil posicionamento de um rufo metálico no topo, que serve como uma barreira adicional para evitar infiltrações entre os módulos. Esse detalhe é fundamental para aumentar a estanqueidade à água da chuva no espaço fronteira entre habitações vizinhas.

A calha, componente responsável por coletar a água da cobertura, é apoiada sobre os painéis exteriores da habitação além de possuir ligações metálicas com a estrutura de perfis de MLC de abeto. Tal integração entre os componentes permite um suporte sólido e seguro para a calha. Os tubos de queda, por sua vez, são projetados na região entre o painel Viroc e o Painele OSB, no espaço disponível entre eles, garantindo a condução da água até os demais sistemas de drenagem, situados na base dos painéis. Todo esse conjunto de drenagem e soluções foram cuidadosamente projetados para permitir um bom escoamento das águas pluviais, com a finalidade de evitar problemas de acumulação de água na cobertura, sempre respeitando os princípios de custo mínimo e levada préfabricação, ver figura 84.

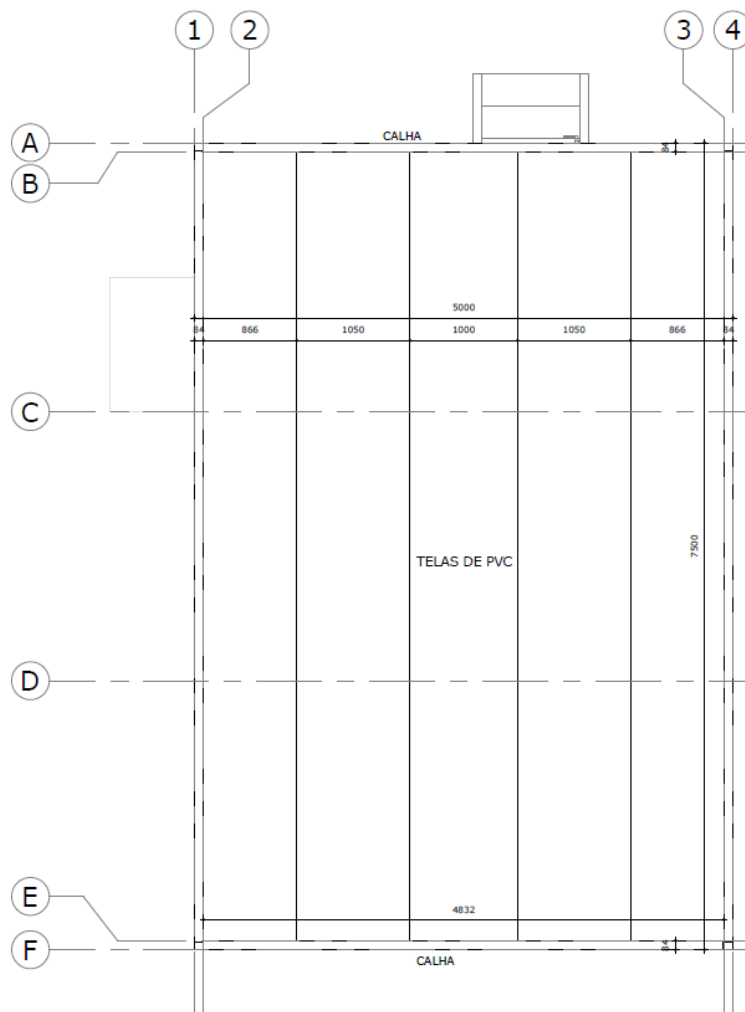


Figura 84 – Planta de Cobertura, com telas de PVC (dimensões em mm). Autoria própria

As telas de PVC não aderentes constituem o material escolhido para a solução de revestimento de impermeabilização da cobertura, devido a uma série de condições e especificações necessárias deste projeto. Primeiramente, é um material durável e resistente, proporcionando uma longa vida útil com baixa necessidade de grandes manutenções. Para complementar, possuem um custo relativamente baixo, ou seja, evitam grande adição de custos adicionais e não necessitam de instalações complexas.

A sua instalação vai ser feita apenas na obra, no sentido perpendicular aos módulos, de uma maneira que vão passar da região de um módulo para o outro, garantindo uma cobertura contínua. Sua largura de 1 metro, na maioria dos fornecedores, é ideal para a aplicação nos módulos, considerando que a região de cobertura possui 5 metros de largura, proporcionando um alto aproveitamento do material.

A junção das telas de PVC não aderente na região de telhados é realizada de maneira geral por meio de sobreposição e fixação mecânica. As faixas de tela são instaladas lado a lado, permitindo que seja criada uma sobreposição adequada para evitar vazamentos. Sua fixação pode ser feita por parafusos ou grampos específicos, em áreas de sobreposição para manter as telas firmemente presas.

Em resumo, as telas de PVC não aderente oferecem não só a durabilidade, resistência e baixo custo, mas também uma fácil instalação e um baixo índice de desperdício de material. Se bem executado, este sistema de impermeabilização garante uma cobertura segura e eficiente para os módulos do protótipo da habitação modular, ver figura 85, que representa um corte na zona da tela e calceira lateral sobre as empenas.

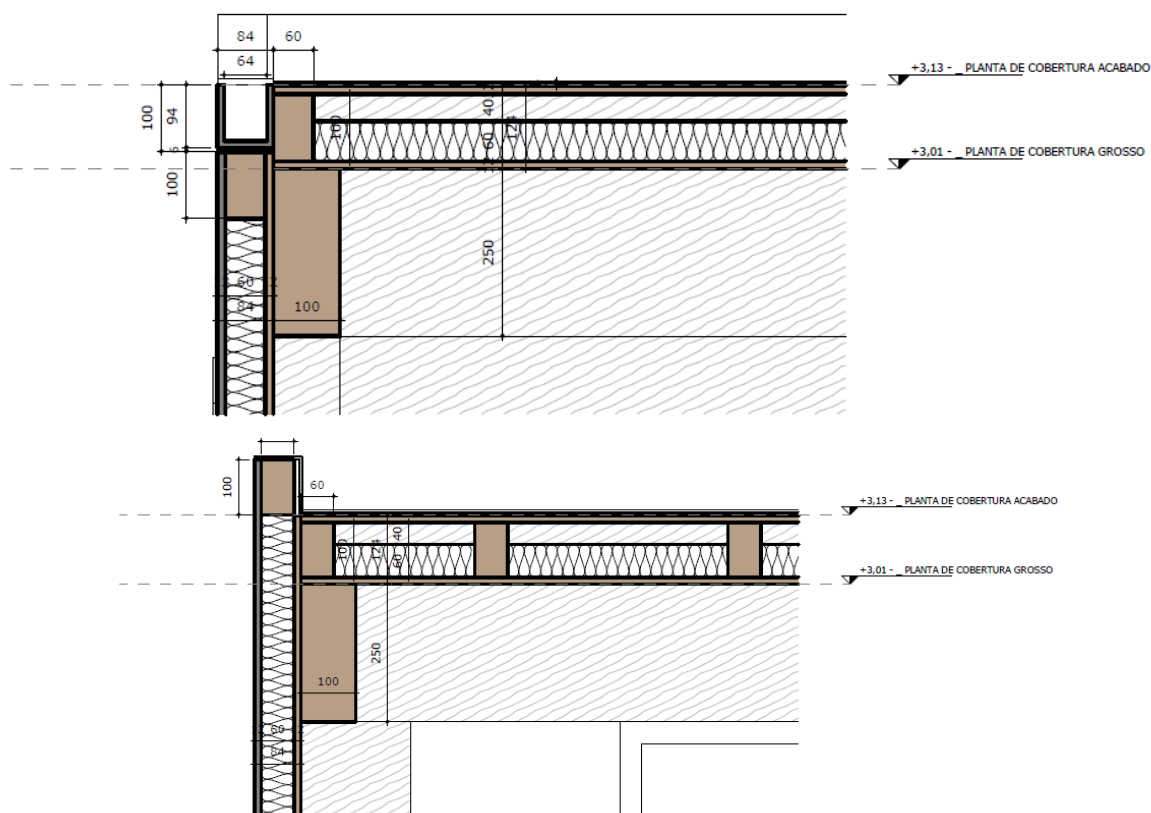


Figura 85 – Pormenor de Cobertura, em região de calha (acima) e painel lateral (abaixo) (dimensões em mm).
Autoria própria

4.3.9 REVESTIMENTO DE PISO

A escolha do revestimento para o piso do protótipo de habitação modular levou em consideração diversos aspectos importantes. Um deles, era a necessidade um piso de fácil aplicação, visando aumentar a velocidade de construção e diminuir a necessidade de mão de obra especializada. Para complementar, o custo do material foi um fator fundamental, buscando uma solução econômica mas que não comprometesse de qualquer forma a qualidade e eficiência do revestimento.

Outro critério importante foi o conforto para os ocupantes, partindo do princípio que o piso é uma superfície com a qual os ocupantes da habitação têm contato direto bastante frequente. Portanto, o revestimento escolhido deve proporcionar um conforto necessário para caminhar e permanecer no mesmo, ajudando muito a garantir uma boa qualidade de vida dos moradores, mesmo num espaço tão pequeno. A padronização do revestimento em toda a habitação também foi um aspecto considerado. Isso garante não só a estética coesa e uniforme, mas também menos custos e um processo construtivo mais rápido.

A decisão foi tomar a opção de realizar a instalação do piso no local da obra. A decisão foi escolhida visando facilitar a instalação dos materiais e evitando possíveis danos durante o transporte dos módulos pré-fabricados. Para complementar, a instalação no local ajuda na maior flexibilidade para ajustes e correções finais, permitindo um acabamento de melhor qualidade.

Com isso, o revestimento escolhido para o piso da habitação foi o piso flutuante, também conhecido em Portugal como piso laminado. A opção apresenta uma grande quantidade de aspectos positivos que ajudaram para a sua escolha. O primeiro dos benefícios é a sua fácil instalação. Ele utiliza um sistema de encaixe, como macho-fêmea, dispensando o uso de argamassa ou de outros componentes de fixação, gerando uma grande simplificação do processo de aplicação. Para somar, o piso flutuante pode ser instalado sobre vários tipos de superfícies, como por exemplo os painéis OSB presentes na laje inferior da habitação.

Com uma boa relação custo-benefício, se torna uma opção acessível para revestir os espaços internos da habitação. Além disso, o piso flutuante possui características que oferecem um bom conforto ao caminhar sobre ele. Ele possui características mínimas de isolamento em sua composição, proporcionando um maior conforto térmico e acústico.

Na sua instalação, o piso flutuante é colocado perpendicularmente aos módulos da habitação, tal como na direção adotada para a cobertura, ver figura 86. Essa disposição acaba por contribuir para a ligação entre os módulos.

Espumas de polietileno, são instaladas entre o piso flutuante e o painel OSB e são utilizadas como uma camada de isolamento que ajuda a minimizar ruídos como o de impacto e resultando em uma maior absorção de vibrações, melhorando o conforto acústico do ambiente, sem aumentar significativamente o custo da construção e melhorando muitíssimo o desempenho da solução global de revestimento de piso.

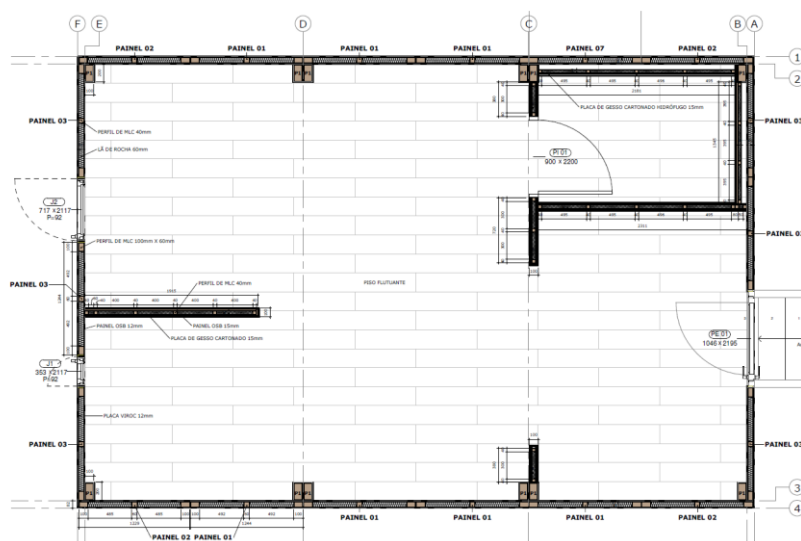


Figura 86 – Planta da habitação, no qual possível verificar instalação do revestimento flutuante. Autoria própria.

4.5. PROJETO DE ARQUITETURA E URBANISMO

A arquitetura possui um papel importante na criação de espaços habitacionais acessíveis para pessoas que estão iniciando suas vidas e não possuem condições financeiras para comprar ou alugar apartamentos nos complicados dias atuais. Ao se projetar uma moradia para uma ou duas pessoas, é fundamental entender diversos aspectos para garantir um ambiente confortável, funcional e adequado às necessidades dos moradores.

Ao projetar uma moradia low-cost em Portugal, é essencial também entender as regulamentações e normas construtivas estabelecidas pelo RGEU. De acordo com suas normas, uma habitação do tipo T0 deve ter no mínimo 35m² de área bruta para atender às necessidades básicas mínimas para os moradores. Partindo do princípio que se trata de uma moradia de baixo custo, é importante entender que a regulamentação estipula uma área mínima de construção para um T0 ainda assim baixa. Dessa maneira, ao projetar uma habitação nesses termos, é normal buscar uma área bruta de construção com proximidade ao valor estipulado para minimizar os gastos e, se possível buscar na ligação ao exterior e na implantação, ganhos adicionais de “espaço” importantes para a qualidade global da solução.

No que se refere ao uso interno do espaço, uma habitação do tipo T0 possui características de integração do quarto com as demais áreas da moradia, o que gera um ambiente mais aberto e fluido. Nesse contexto, o protótipo deve possuir um design de layout interno "open concept" gerando no espaço disponível uma sensação de amplitude.

O adotar de um layout interno do tipo "open concept", tem como objetivo eliminar barreiras físicas como paredes, para gerar uma conexão visual e de funções entre os diferentes espaços. Como consequência a abordagem visa maximizar os usos do espaço, cada área assim podendo desempenhar múltiplas funções, conforme as necessidades de cada um. A figura 87 representa a solução projetada do ponto de vista funcional.

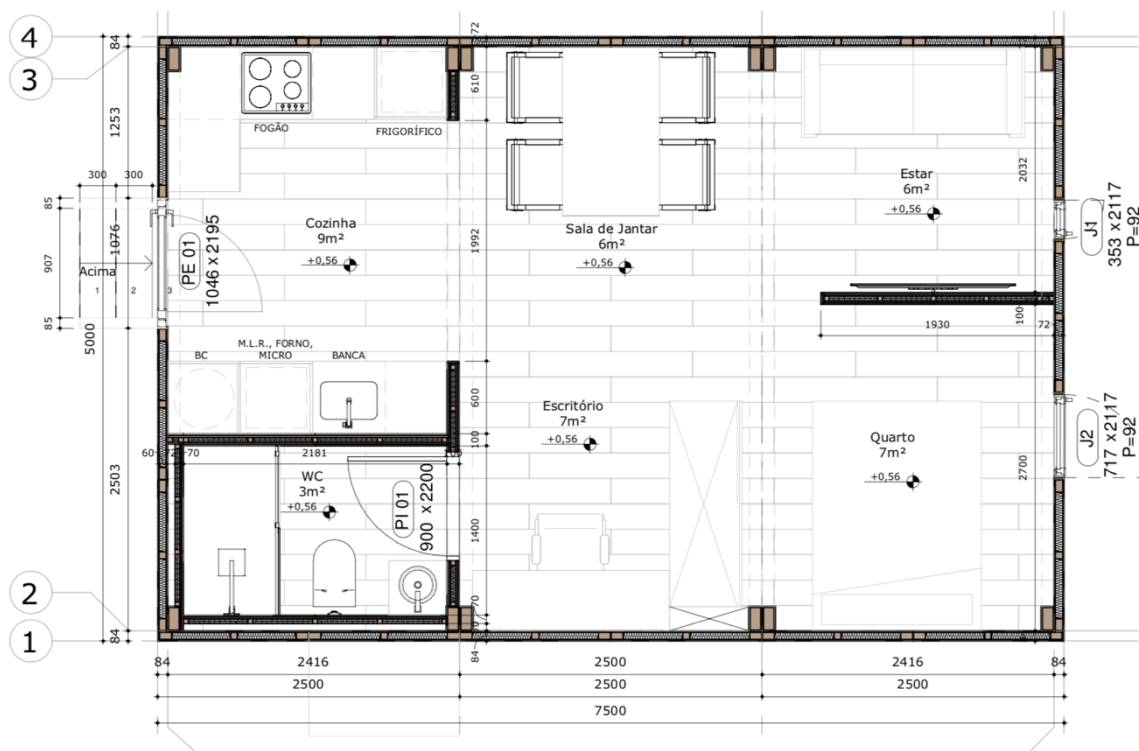


Figura 87 – Planta da habitação, no qual possível verificar layout interno. Autoria própria

No projeto do protótipo em questão, o layout interior foi pensado de forma a otimizar o espaço disponível e gerar uma sensação de amplitude. Ao entrar na moradia, os ocupantes são recebidos pela cozinha, que além de ter sua função tradicional, também é composta por itens como a bomba de calor e a máquina de lavar, tornando-se dessa maneira um espaço multifuncional.

As carpintarias e equipamentos da cozinha são posicionados nas laterais, gerando uma visão direta para a sala de jantar e para a área de estar quando se abre porta de entrada. Essa disposição dos espaços acaba por gerar uma integração visual entre os ambientes, criando uma sensação de continuidade e de amplitude espacial. A sala de jantar e a área de estar são pensadas para estarem integradas, sem barreiras físicas a separá-las.

Resulta daí um ambiente mais aberto e integrado, proporcionando um fluxo mais direto entre as diferentes áreas de convívio interno.

Conforme entramos pela residência, podemos verificar os demais ambientes que foram projetados, levando em consideração que esses ambientes são vistos pensando na necessidade de maior privacidade devido às suas funções específicas. Entre os ambientes, o escritório é o primeiro e está totalmente integrado com os demais, no entanto, não é visível ao entrar na residência. O escritório foi planejado de forma a estar integrado com os espaços de convívio, porém sua localização específica permite que haja um espaço mais reservado, para se criar um ambiente propício para o trabalho ou estudo.

O quarto é outro ambiente que foi projetado com uma maior privacidade em mente. Ele é quase fechado pelo roupeiro e pela parede da TV, criando uma sensação de separação visual e acústica em relação às áreas comuns da residência. Essa disposição busca proporcionar aos moradores um ambiente tranquilo e reservado para descanso e intimidade. Por fim, o banheiro foi concebido como um espaço totalmente

isolado por paredes, garantindo a máxima privacidade possível. Esse isolamento é fundamental para criar um ambiente íntimo e confortável, onde os moradores possam desfrutar de momentos de higiene pessoal de forma discreta e segura, ver figura 88.

Com esse layout, o projeto tenta equilibrar a integração dos espaços de convívio com a privacidade necessária em ambientes particulares, como o escritório, o quarto e o banheiro. Essas diretrizes acabam por criar uma experiência completa e funcional aos habitantes, ao considerar tanto a interação social quanto a necessidade de momentos mais intimistas e de relaxamento e trabalho.

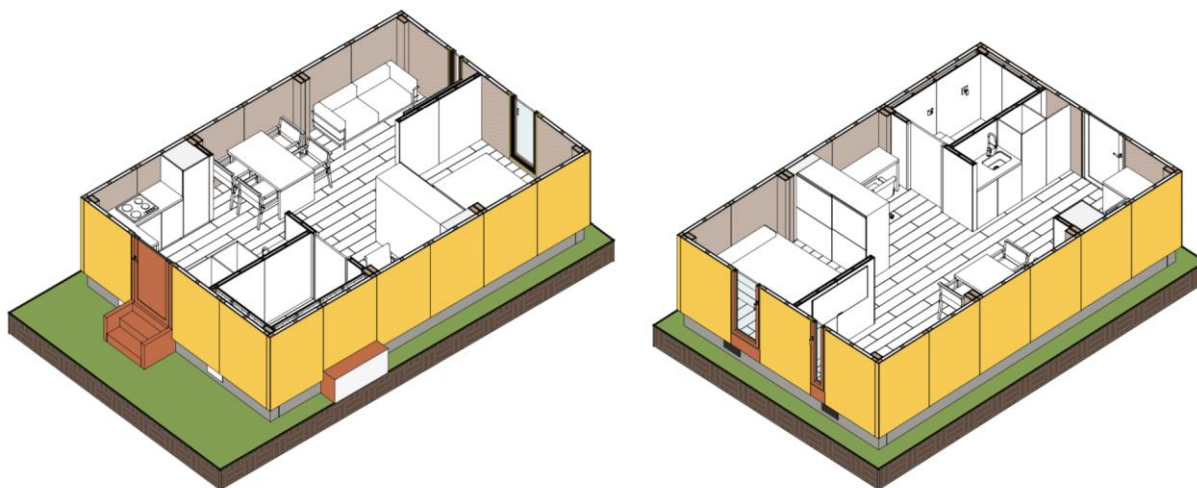


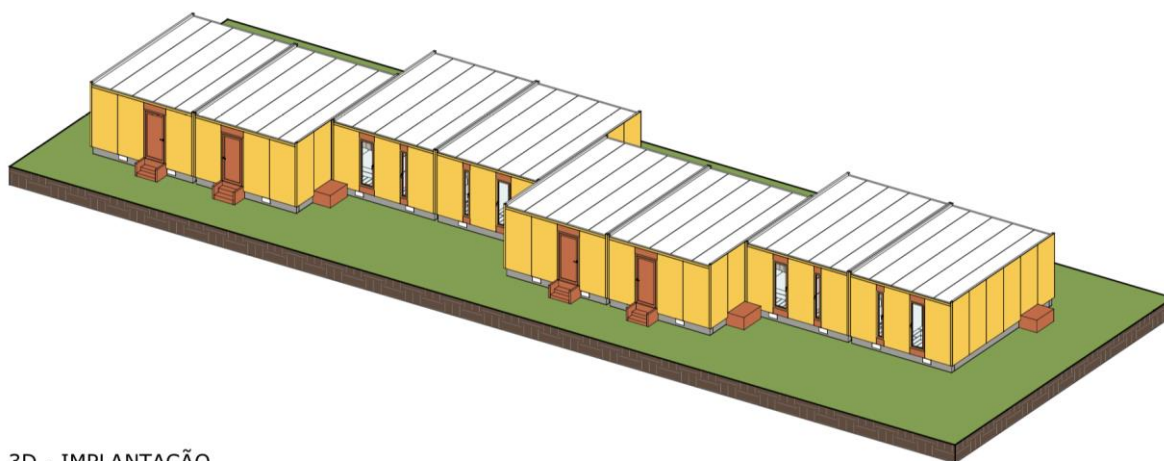
Figura 88 – Axometrias do projeto, no qual possível verificar layout interno. Autoria própria

No desenvolvimento do protótipo de habitação modular low-cost em questão, a integração urbanística foi também estudado de forma concisa, permitindo possíveis debates e desenvolvimentos futuros. A organização dos módulos de habitação foi primeiramente pensada para serem feitos em banda todos encostados uns aos outros e sem estarem desfasados, gerando uma simetria visual interessante mas ao mesmo tempo monótona e de alguma forma “compacta” e logo menos respeitadora da privacidade relativa dos diversos moradores.

Posteriormente, os dois módulos a seguir também foram projetados como espelhados, no entanto suas entradas foram localizadas em lados opostos e desfasadas, ver figura 89. Esta mudança da disposição das habitações, com entradas desfasadas 180°, apesar de aparentemente simples, traz grandes benefícios significativos para o urbanismo. O primeiro é que a fachada dinâmica resultante não se limita apenas a entradas ou fundos, mas sim combina os dois elementos. Isso proporciona uma estética mais dinâmica às duas ruas, tornando-se um elemento enriquecedor do contexto urbano, e gerando movimento nas duas ruas paralelas.

Outro aspecto positivo para se falar é que os alçados dos quartos estão localizados de forma recuada em relação à rua. Dessa maneira, a disposição oferece maior privacidade aos ambientes internos, reduzindo a exposição direta das salas e quartos aos espaços públicos. Para finalizar, a organização dos módulos também resolveu as questões relacionadas com o saneamento. Com os módulos recuados em relação à rua, é possível gerar uma área de acesso mais fácil para o projeto das redes de saneamento, como esgotos. Dessa forma o projeto facilita a execução das infraestruturas urbanas necessárias, e a sua ligação com o projeto, deixando-o mais eficiente.

Portanto, com essas características urbanísticas, o projeto de habitação modular low-cost possui uma preocupação séria em projetar um ambiente habitacional funcional, esteticamente agradável e integrado no contexto das periferias das cidades, já que necessita de uma área plana grande e logo aplica-se a locais onde o terreno tem um valor mais baixo. A organização das habitações, a dinamicidade da fachada, preservação da privacidade dos moradores e soluções infraestrutura são elementos que corroboram para uma melhor qualidade de vida e contribuem para o desenvolvimento urbano sustentável.



3D - IMPLANTAÇÃO

Figura 89 – Axometria da implantação do projeto, com disposições das habitações. Autoria própria

4.6. PROJETOS HIDRÁULICOS

4.6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os projetos hidráulicos foram aspectos importantes que necessitaram estudos mais aprofundados no desenvolvimento do protótipo. Por serem diferentes dos projetos elétricos, térmicos e acústicos, que podem ser ajustados de forma fácil e flexível, os projetos hidráulicos possuem características próprias que requerem uma análise cuidadosa. Os projetos hidráulicos são constituídos por infraestrutura relacionada com o abastecimento de água, esgoto e drenagem pluvial. São projetos responsáveis por permitir o correto funcionamento desses sistemas, bem como uma boa eficiência na gestão do uso da água.

Uma das abordagens adotadas no projeto foi concentrar os elementos que estão relacionados com as instalações hidráulicas em um determinado local, com o objetivo de diminuir a quantidade de tubulações e conexões, para daí resultar uma diminuição dos custos da construção. O adensamento ocorreu por meio da divisão da habitação em dois módulos secos e um módulo molhado, ver figura 90. No módulo molhado, foram adensados todos os pontos da rede de distribuição de água, bem como os elementos essenciais, como a bomba de calor e a rede de drenagem de esgotos. No módulo molhado, estão localizados, portanto, a cozinha multifuncional e o banheiro da habitação.

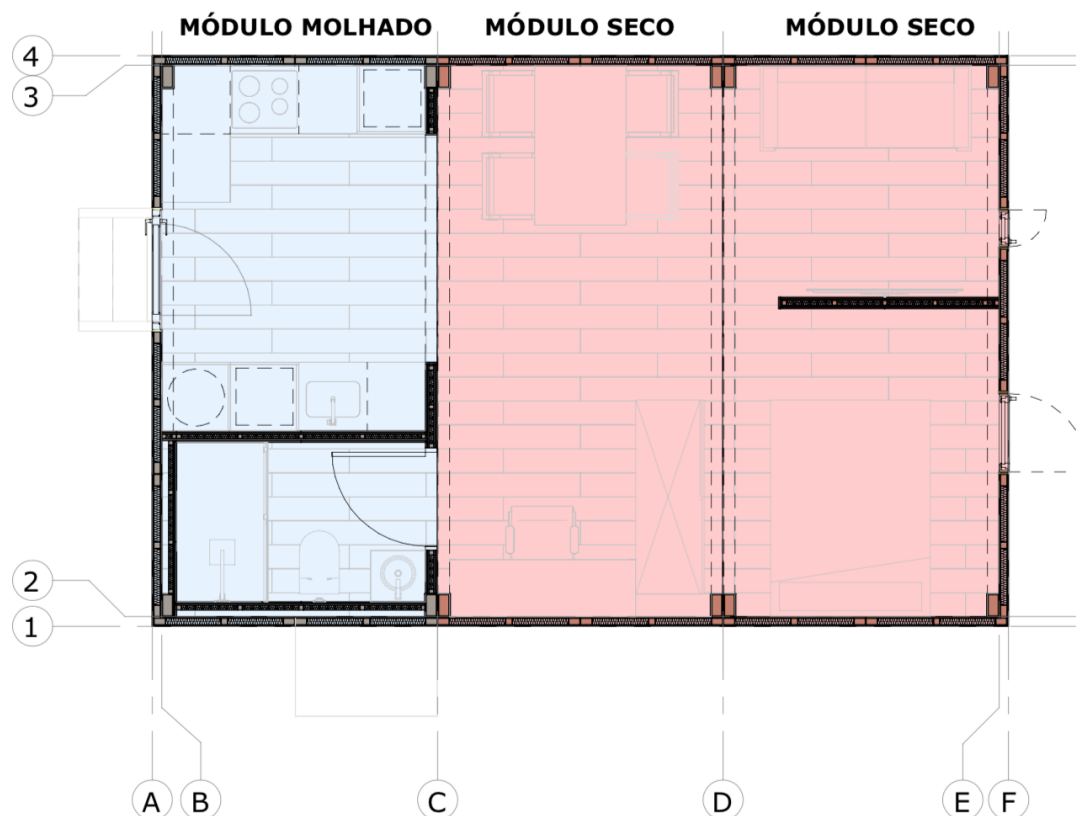


Figura 90 – Planta, com disposições dos módulos secos e molhado. Autoria própria

A decisão de concentrar as instalações hidráulicas em um único módulo, oferece algumas vantagens. Em primeiro lugar, sintetiza as instalações, uma vez que todos os pontos de água e esgoto são agrupados em uma determinada região. Isso ajuda o trabalho dos profissionais envolvidos na construção e manutenção das instalações. Para complementar, a concentração dos elementos hidráulicos reduz a necessidade de longas tubulações, diminuindo assim as perdas de pressão e aumentando a eficiência do sistema. Também facilita a detecção de falhas do sistema como vazamentos, uma vez que os pontos de água estão centralizados em um único local.

Outra característica boa é a facilidade de acesso para manutenção das instalações hidráulicas. Com todos os componentes adensados em um único módulo específico, fica mais simples realizar inspeções, limpezas e eventuais consertos, gerando uma maior durabilidade e funcionamento correto ao longo do tempo.

Portanto, ao concentrar os pontos de água, drenagem e outros elementos hidráulicos em um único módulo molhado específico, o projeto busca sintetizar a instalação, reduzir custos e otimizar o sistema, bem como facilitar a manutenção e reparos futuros. A abordagem adotada contribui para a eficiência das instalações hidráulicas no protótipo de habitação modular.

Uma consideração que foi importante no projeto hidráulico foi escolher se as tubulações e redes seriam instaladas na fábrica ou no local da obra. Após estudo e debate, foi determinado que as tubulações presentes no interior do módulo seriam fabricadas em conjunto com os componentes construtivos em

fábrica para evitar assim cortes nas paredes, pisos e isolamentos no local de obra, diminuindo assim o desperdício de material.

Ao integrar as tubulações durante a fase de fabricação do módulo, é possível criar um sistema pré-fabricado, aumentando a industrialização da construção e gerando assim um processo mais eficiente e preciso, que se encaixa perfeitamente nas necessidades deste tipo de habitação.

No entanto, para evitar imprecisões nas conexões entre o módulo e os elementos construídos no local da obra, optou-se por realizar a instalação das tubulações que estão localizadas entre a rede pública e o módulo após a colocação deste em seu lugar definitivo. Dessa maneira, é possível permitir que as ligações sejam feitas de maneira precisa, evitando erros ou ajustes que possam comprometer a correta execução das ligações e o consequente bom funcionamento do sistema hidráulico.

Portanto essa decisão de executar as ligações no final da montagem permite que o projeto tenha uma maior flexibilidade, pois a instalação das tubulações externas ao módulo pode ser adaptada às condições do local da obra, levando em consideração a topografia, e o posicionamento dos módulos e as características do terreno em cada implantação concreta.

Para complementar, ao realizar a conexão após a colocação do módulo, é possível fazer ajustes eventuais s a desalinhamentos ou interferências que possam surgir durante o processo construtivo ou erros de implantação dos módulos ou das respectivas fundações.

4.6.2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

O projeto hidráulico do protótipo refere-se à rede de distribuição de água e a ligação à rede pública está localizada na frente da residência. Nesse local, também está instalado o contador, que possui a função de medir o consumo de água. A partir dele, sai a tubulação que traz a água da rede pública para a habitação. Essa parte da tubulação do projeto é realizada no local da obra, levando em consideração as características da construção presente neste estudo.

Depois da conexão com a rede pública, a tubulação de água entra na residência pelo espaço entre o painel Viroc e o painel OSB, onde ocorre a ligação das tubulações construídas no local da construção com as tubulações pré-instaladas no módulo durante o fabrico em unidade industrial. A partir desse local, as tubulações de água passam pelas lajes inferiores, e vão para a região do termo acumulador localizado próximo à porta. O termo acumulador desempenha uma função importante na distribuição da água quente, sendo o responsável por aquecê-la antes de ser distribuída para os pontos de consumo específicos.

Quando falamos da rede de água fria, essa não passa pelo termo acumulador. Ao invés disso, a tubulação de água fria é subdividida para abastecer tanto a cozinha quanto o banheiro separadamente. Essa subdivisão permite um melhor controle da distribuição da água fria para os diferentes pontos de consumo, como no banheiro que possui um registro específico para ele.

Na cozinha, a rede de água fria abastece a máquina de lavar roupa e a torneira. Isso permite que os habitantes tenham acesso a água fria para lavagem de roupas e para uso na torneira da pia na cozinha multifuncional. Por outro lado, a rede de água quente é direcionada de forma exclusiva à torneira da cozinha, possibilitando o fornecimento de água quente para atividades como lavar louça e demais utensílios específicos.

No ambiente do banheiro, a rede de água fria tem a função do abastecimento do chuveiro, da bacia de retrete (vaso sanitário) e da torneira. A rede de água quente, por sua vez, está relacionada com o chuveiro e a torneira do banheiro. Essa distribuição de água quente gera um bom conforto e praticidade aos moradores, possibilitando que eles tenham acesso a banhos quentes e água aquecida para higienização pessoal.

É importante dizer que o dimensionamento das tubulações, ramificações de distribuição individual e caudais foi realizado com o auxílio de um engenheiro especializado em projetos hidráulicos. A partir de cálculos iniciais baseados em outros projetos de habitação, as dimensões que foram adotadas nesse pré-dimensionamento foram aplicadas ao projeto hidráulico do protótipo de habitação modular desenvolvido. No entanto, é importante salientar que essas medidas podem sofrer pequenas alterações ou ajustes durante o eventual desenvolvimento mais profundo do projeto no futuro, caso sejam identificadas novas necessidades ou otimizações. Todos os desenhos técnicos, pormenores e valores do dimensionamento hidráulico que foram projetados estão disponíveis no anexo 03, permitindo dessa maneira um suporte visual detalhado relativo ao anteprojeto desenvolvido, ver exemplo abaixo, figura 91.

A interação e a colaboração entre as equipes de arquitetura e engenharia é importante para garantir a integração correta dos aspectos arquitetônicos e de engenharia hidráulica do projeto. Assim, as possíveis modificações das tubulações ou ramificações podem ser realizadas sem comprometerem de forma grave o projeto arquitetônico, com a facilidade de uso da ferramenta BIM para auxiliar o processo de revisão.

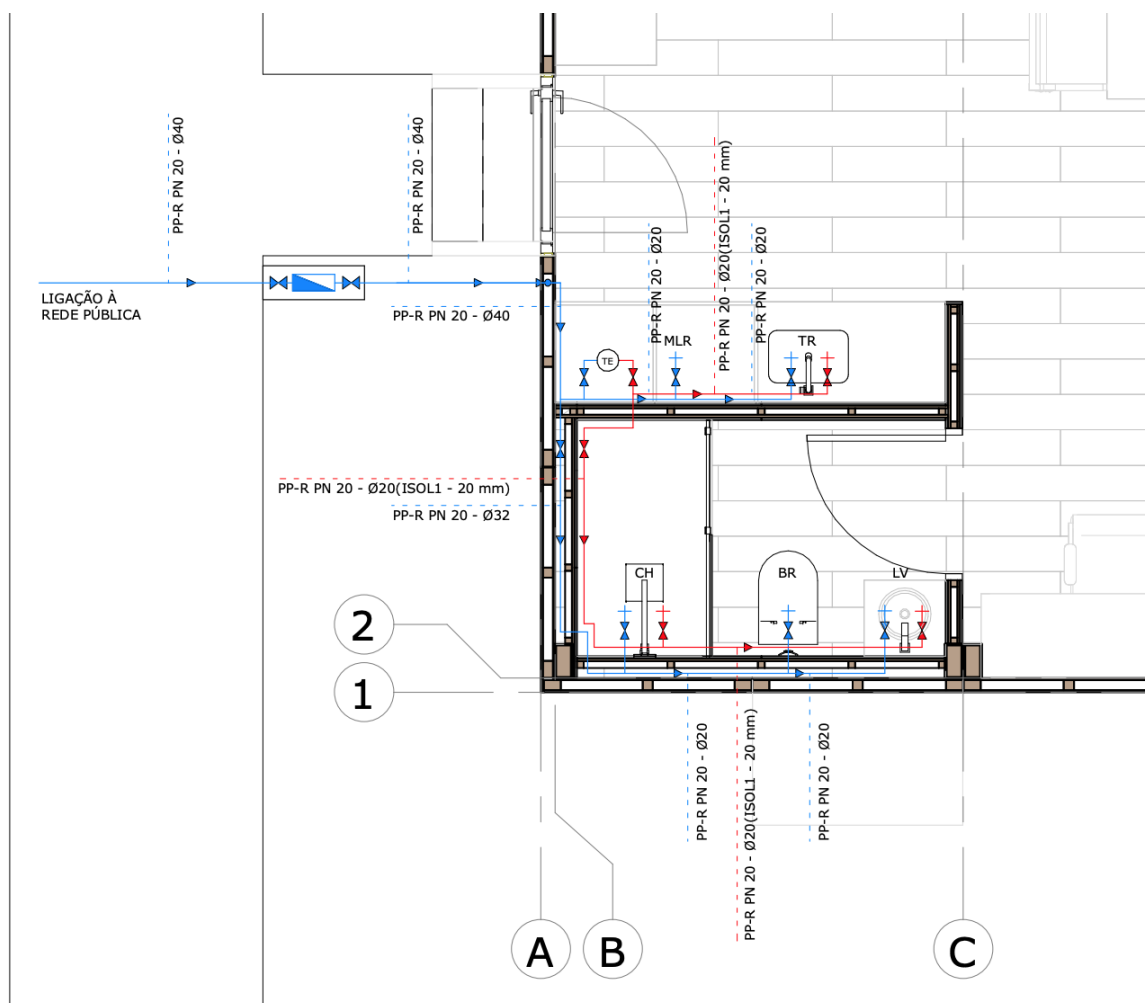


Figura 91 – Planta, com disposições da rede de distribuição de água. Autoria própria.

4.6.3 REDE DE DRENAGEM DE ESGOTOS

O projeto hidráulico da rede de drenagem de esgotos foi mais uma especialidade nesse estudo. Nesse estudo essa rede apresentou alguns desafios significativos devido às dimensões das tubulações e sua interação com a solução construtiva desenvolvida. Isso ocorre devido à necessidade de conectar as pré-instalações do sistema presente no módulo com as instalações feitas no local da obra. Isso ocorre porque não seria possível fazer uma pré-instalação das tubulações no módulo, porque suas tubulações teriam que passar por baixo da viga lintel de fundação antes construída no local da obra.

Um dos desafios encarados no projeto hidráulico da rede de drenagem de esgotos foi assim a de fazer as conexões das tubulações pré-instaladas no módulo com as instalações construídas no local da obra, o que poderia acarretar perfurações nas vigas lintel ou nos painéis da fachada, caso não fosse encontrada uma solução viável que evitasse essas “demolições/furações”.

Da eventual demolição resultariam dois problemas significativos: um de natureza estrutural e outro estético.

Quando falamos do aspecto estrutural, a perfuração de uma viga lintel, que tem a função de fornecer suporte e estabilidade ao módulo, pode acarretar na perda da integridade estrutural do sistema. Qualquer

grande alteração nas vigas lintél pode afetar a capacidade de carga do conjunto estrutural. Portanto, é importante evitar perfurações que possam enfraquecer ou comprometer as vigas.

Sobre o ponto vista estético, fazer furos nos painéis da fachada acaba por resultar em uma perda considerável na estética arquitetônica do projeto. Esses furos geram uma perda na qualidade visual e de harmonia do conjunto, comprometendo a estética do módulo da residência. A preservação do projeto arquitetônico é importante para garantir a qualidade estética do projeto e a sua integração “limpa” com o exterior.

Partindo desses desafios, foi necessário criar uma solução alternativa que permitisse a fácil conexão das tubulações sem comprometimento estrutural e estético do projeto. Com a integração do estudo do urbanismo e da integração arquitetônica, uma solução foi alcançada para resolver as complexidades resultante das conexões das tubulações de drenagem de esgotos, sem realizar demolições/furações e que de seguida se descreve, ver figura 92.

O recuo e espelhamento das habitações e das suas entradas, permite que o desfaseamento dos módulos crie um espaço na lateral do módulo ideal para permitir a saída do sistema de drenagem.

Essa solução específica permitiu realizar as ligações das tubulações com as instalações feitas no local da obra sem grandes complicações, já que o acesso às tubulações está acima da viga lintél e facilmente visível. Para complementar, a localização da caixa de inspeção na lateral da residência reduz o respectivo impacto estético, pois não compromete a fachada frontal e principal do projeto.

Com o estudo de urbanismo e paisagismo, é possível ocultar ou integrar a caixa de instalações ao projeto, sem a perda da qualidade estética e preservando a qualidade arquitetônica da habitação. Com novas soluções de paisagismo e design inteligente, é possível criar um projeto que camufle ou torne a caixa de instalações visualmente agradável, evitando que ela se destaque negativamente no contexto da urbanização (por exemplo usando plantas/arbustos).

Para contrapor a solução inovadora encontrada para lidar com as complexidades das conexões das tubulações de drenagem de esgotos, as demais questões desse sistema seguem normas e padrões tradicionais. A inovação nas outras áreas é a instalação prévia das tubulações em fábrica, com o objetivo de evitar quebras e furos no local da obra. O pré-dimensionamento e a pré-instalação das tubulações de drenagem de esgotos na fábrica traz benefícios significativos para o processo construtivo. Ao serem pensadas e instaladas na fábrica, as tubulações podem ser ajustadas com precisão, garantindo o seu correto uso no projeto e evitando retrabalhos e modificações no local da obra.

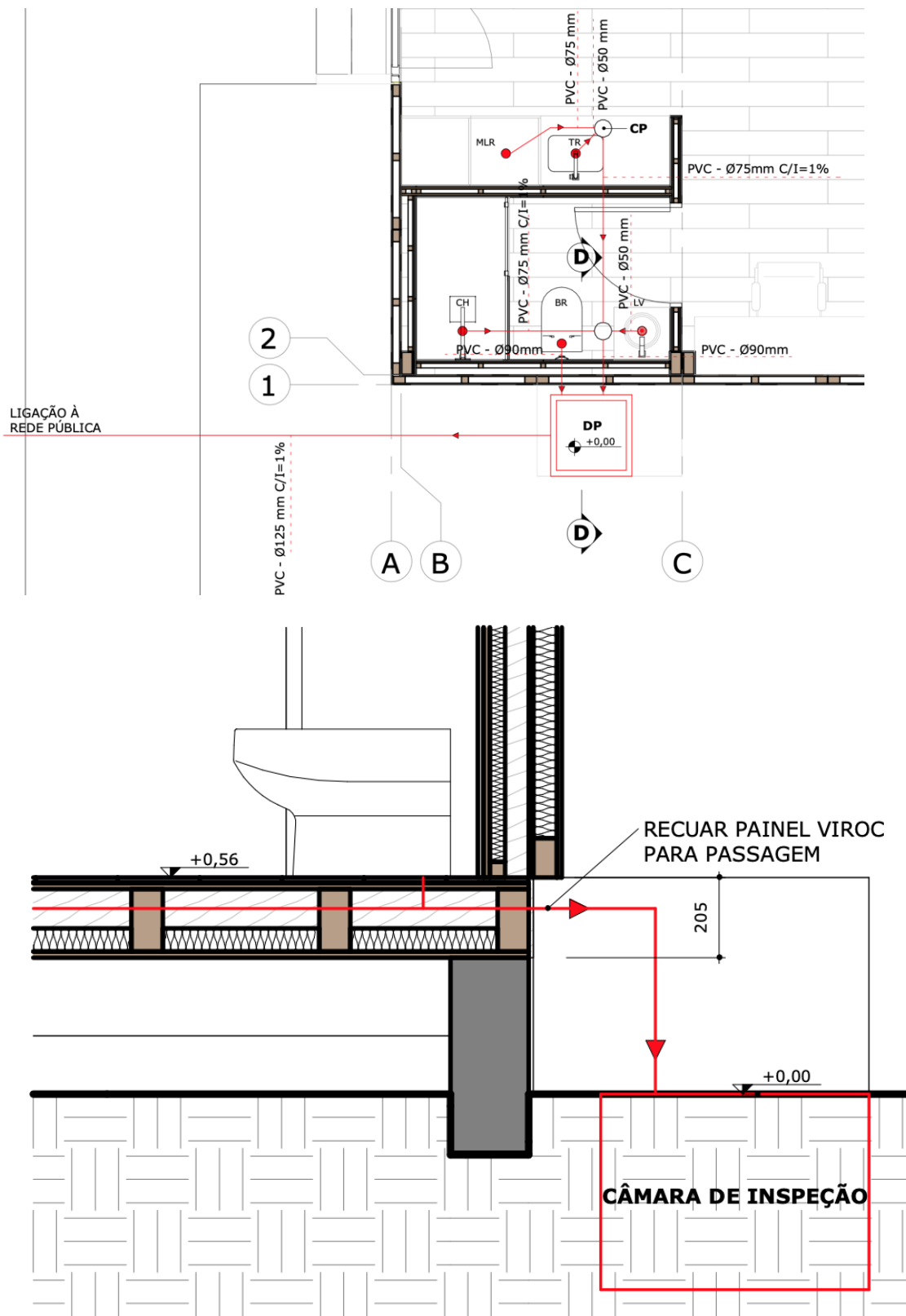


Figura 92 – Planta e corte com disposições da rede drenagem dos esgotos. Autoria própria.

Portanto ao realizar a instalação das tubulações em fábrica, é possível garantir a qualidade e a eficiência do sistema, bem como os processos de fabricação são controlados e supervisionados por vários profissionais. Todo o cojento de ações ajuda para a redução de erros e falhas durante a instalação, resultando em um sistema hidráulico mais confiável e duradouro. Como no capítulo anterior, os demais desenhos, detalhes e informações específicas do sistema de drenagem de esgotos estão disponíveis no anexo 03.

4.6.4 REDE DE DRENAGEM PLUVIAL

O último projeto hidráulico desenvolvido, mas não menos importante refere-se à drenagem das águas pluviais. Esse projeto se tornou mais simplificado após a definição da solução de cobertura pela drenagem da água pela ação dos ventos. O sistema possui duas calhas localizadas nos alçados frontal e posterior da habitação, alçados que possuem menor altura e com as telas de PVC da cobertura acabam por direcionar naturalmente a água através da tensão superficial. Essas calhas são projetadas sobre os painéis exteriores da habitação, integrando-se ao projeto arquitetônico das fachadas.

Como mencionado anteriormente, a água escoar sobre telas de PVC não aderentes colocadas na cobertura. Para ajudar na preservação da qualidade estética dos alçados, os tubos de queda foram projetados entre o painel Viroc e o painel OSB. Tanto as calhas quanto os tubos de queda são pré-instalados em fábrica, sendo que estes últimos são os que realizam a conexão com os demais sistemas de drenagem pluvial que são construídos no local e posteriormente conectam-se à rede pública de drenagem, ver figura 93 abaixo.

O projeto pré-dimensionado e pré-instalado das calhas e tubos de queda em fábrica traz vantagens significativas para o processo de construção. Com a instalação durante a fabricação, esses componentes podem ser ajustados com precisão, garantindo sua compatibilidade com o projeto de arquitetura. A integração visual das calhas com o design das fachadas ajudou para a estética do projeto, garantindo a qualidade visual da residência.

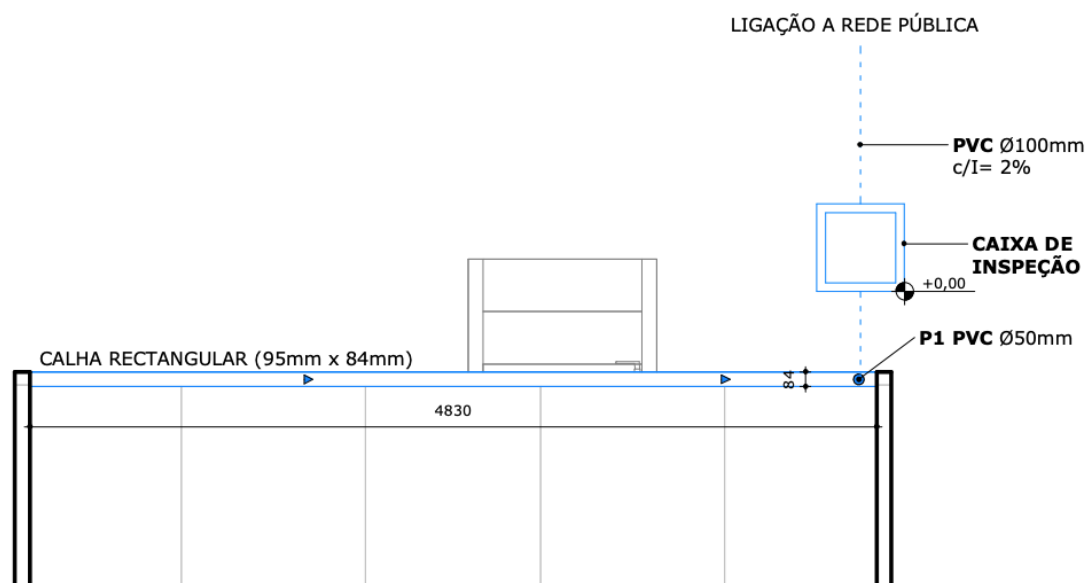


Figura 93 – Planta recortada com disposições da rede drenagem pluvial. Autoria própria.

Ressalta-se novamente que todos os detalhes, desenhos e especificações técnicas relacionadas com o projeto de drenagem das águas pluviais podem ser acessadas no anexo 03, que possui as orientações para sua execução. A conversa com engenheiros especializados nesse sistema é importante para entender a conformidade com as normas e as necessidades técnicas, garantindo a eficiência e o bom funcionamento do sistema.

4.7 SÍNTESE DO CAPÍTULO

A construção modular em madeira de baixo custo é um conceito presente nos dias atuais e tem ganho destaque no campo da arquitetura e engenharia. Neste capítulo, foi possível entender o mecanismo e processos de concepção do protótipo de módulo, desde as ideias iniciais do conceito até à explicação minuciosa de cada componente construtivo, incluindo que materiais utilizar, dimensões, ligações e local de instalação de cada item no módulo e da respectiva habitação.

Iniciando pelas diretrizes estabelecidas no desenvolvimento do protótipo, que foram cruciais para guiar todo o processo, o partido definiu que a construção modular em madeira de MLC de abeto de baixo custo tem que ser sustentável, economicamente viável e facilmente replicável para redução dos custos. Com base nessas diretrizes, foram escolhidos as soluções e os materiais que compõe o protótipo, levando em consideração a sua disponibilidade, custo e durabilidade.

Quando falamos dos materiais, o MLC de abeto foi escolhido como protagonista devido às suas propriedades de sustentabilidade, de custo e estruturais. O seu dimensionamento e as ligações entre os componentes foram cuidadosamente pré-dimensionados para garantir a estabilidade e a segurança da estrutura.

Os diversos setores da moradia foram estudados, levando em consideração as necessidades de função e conforto dos moradores. Os materiais que compõe cada componente foram escolhidos de acordo também com a sua aplicabilidade e desempenho. A localização de cada componente do módulo-base e ados 3 módulos da habitação também foi projetado de forma minuciosa e com a ajuda de outros profissionais da construção (engenheiros identificados no texto), levando em consideração fatores como, ventilação, acessibilidade e estrutura. O projeto arquitetônico e de urbanismo foi desenvolvido com o objetivo de proporcionar um ambiente confortável, esteticamente agradável e funcional.

Por fim, foram adicionados três projetos hidráulicos como parte fundamental do processo de construção. Tais projetos, que são compostos como o abastecimento de água, sistema de esgoto e drenagem pluvial, acabam por impactar de forma significativa no projeto arquitetônico como um todo se não pensados de forma integrada e foram assim desenvolvidos como um complemento essencial ao projeto arquitetônico. O seu pré-dimensionamento e o desenho base desses sistemas foram de suma importância para futuros estudos e para a viabilidade do projeto.

Finalmente, refere-se que a revisão bibliográfica do capítulo 2 e as soluções existentes descritas no capítulo 3 foram de extrema relevância para inspirar o desenvolvimento das soluções técnicas no contexto da construção modular em madeira de baixo custo presente nesta dissertação.

As diretrizes que foram determinadas no início do processo foram seguidas de forma criteriosa, resultando em um protótipo que atende aos requisitos da sociedade atual Portuguesa.

5

CONCLUSÃO

5.1 REFLEXÃO GERAL. SÍNTESE

Nos dias atuais, Portugal enfrenta uma necessidade de mudança no contexto da construção, principalmente nas grandes cidades. Essa demanda é ainda mais visível quando falamos de construções de baixo custo, porque nos últimos anos houve um aumento significativo do mercado imobiliário após a pandemia de Covid-19 e os desdobramentos da guerra na Ucrânia.

Usando uma abordagem diferente, partindo do uso de materiais de construção como a MLC de Abeto e tecnologias de construção como a construção modular e o uso do BIM. A adoção de tais métodos construtivos de pré-fabricação e industrialização da construção pode reduzir os prazos de construção e minimizar os custos.

O objetivo fundamental do trabalho foi fazer o uso da metodologia da construção modular em madeira para a construção de um protótipo de habitação de baixo custo. Dessa forma, o trabalho foi atingido de forma parcial, abrangendo o projeto de arquitetura, o pré-dimensionamento estrutural em conjunto com o orientador, bem como os desenhos dos projetos hidráulicos, como a rede de distribuição de água e os sistemas de drenagem de esgoto e pluviais, com seu respectivo pré-dimensionamento.

No entanto, vale ressaltar que não foram realizados os cálculos do dimensionamento das tubagens devido ao pouco tempo disponível. O autor optou por aperfeiçoar o estudo na arquitetura e nas soluções cruciais de engenharia, considerando que os demais projetos a serem desenvolvidos no futuro não afetariam tanto o protótipo.

O projeto do protótipo desenvolvido foi criado, tendo como base e inspiração estudos realizados nas áreas científicas da tese e apresentadas no capítulo 2 bem como na análise de soluções similares comercializadas em Portugal, ver capítulo 3.

Foram exploradas várias fontes de informação e estudos relevantes sobre o tema principal da dissertação, a construção modular em madeira. As ideias de projeto, assim como suas respectivas soluções, foram então baseadas nesses estudos preliminares, que permitiram adquirir competências específicas sobre as características, soluções e vantagens e desvantagens das construções modulares em madeira, bem como dos softwares necessários para auxiliar no desenvolvimento do projeto, exclusivamente estudados na área do BIM.

O capítulo 3 do presente trabalho desempenhou um papel importante para explorar os sistemas de construção modular em madeira presentes no mercado atualmente. Essa pesquisa teve como objetivo entender como esses sistemas funcionam, identificar suas vantagens e desvantagens e extrair o que de melhor cada um deles poderia oferecer para poder ser usado como inspiração no projeto desenvolvido.

O estudo dos sistemas de construção modular em madeira atuais no mercado gerou um panorama maior das opções existentes. Foram investigadas as soluções específicas de cada sistema, como a forma sua fabricação das estruturas modulares, seus materiais, os métodos de montagem e desmontagem e os sistemas de conexões.

Ao compreender cada um de maneira geral tornou-se possível identificar as vantagens e as desvantagens associadas a cada um deles. Assim sendo, foram levantadas informações relevantes em questões com a

estrutural, a durabilidade, a flexibilidade de layout, a eficiência energética, a sustentabilidade e a facilidade de transporte e montagem.

A pesquisa bibliográfica teve assim um papel fundamental no embasamento teórico do projeto. Por meio da análise de diversos estudos relevantes, foi possível entender as melhores soluções, os avanços tecnológicos e as tendências no campo da construção modular em madeira. A pesquisa permitiu uma base sólida para a escolha das decisões tomadas durante o processo de concepção do protótipo da habitação.

O capítulo 04 desta tese abordou a conceituação e o partido arquitetônico, mostrando como essas ideias foram aplicadas no projeto desenvolvido. Essas diretrizes forneceram a base inicial para o desenvolvimento do projeto como um todo. A partir dessas diretrizes, o capítulo detalha minuciosamente cada parte do projeto de arquitetura do módulo, descrevendo cada um de seus componentes, dimensões e detalhes para um entendimento completo de cada área da construção. O detalhamento de cada setor permite inferir um entendimento claro da arquitetura proposta, bem como do pré-dimensionamento dos elementos estruturais efetuado.

Para complementar, foram desenvolvidos os desenhos dos projetos hidráulicos, que permitem a visualização da disposição e o funcionamento dos sistemas hidráulicos, e se seriam pré-instalados em fábrica ou instalados em obra. Os desenhos possibilitam compreender a forma como a rede de abastecimento de água, e as redes de drenagem de esgoto e de pluviais são implementadas no projeto, garantindo seu correto funcionamento.

Ao detalhar cada parte do projeto de forma minuciosa, o autor demonstrou o compromisso em garantir a compreensão e executibilidade completas e precisas da arquitetura projetada, bem como de sua solução de integração com os sistemas hidráulicos e com a estrutura em madeira. Essa abordagem permitiu observar eventuais desafios e soluções específicas, melhorando a viabilidade e a eficiência do projeto.

A inclusão dos projetos hidráulicos e seus desenhos ajudou para uma visualização mais clara de como esses sistemas seriam instalados na habitação modular, auxiliando na compreensão de seu funcionamento. Assim, a combinação das descrições de forma detalhada da arquitetura do módulo, do pré-dimensionamento dos elementos estruturais e a apresentação dos projetos hidráulicos ajudaram no entendimento completo e mais aprofundado do projeto. O nível de detalhamento foi fundamental para garantir a eficiência, a funcionalidade e a viabilidade do protótipo de habitação de baixo custo proposto na tese.

5.2 OBJETIVOS ALCANÇADOS

Todos os objetivos estabelecidos pelo autor para esta dissertação foram, de maneira geral, alcançados.

No entanto, os objetivos de concepção do módulo foram alcançados de maneira parcial, dado que não se concretizou o projeto de execução global e, ao nível dos projetos de engenharia, os estudos ficaram ao nível do ante-projeto nas especialidades mais ligadas à engenharia civil (estruturas e hidráulicas) e não foram realizados nas outras especialidades. Porém a sensação de cumprimento total foi alcançada.

Os objetivos relacionados com a arquitetura foram atingidos, abrangendo questões como o layout interno, as elevações exteriores, os revestimentos, a carpintaria, os vãos externos e internos da habitação, a cobertura, a materialidade e a morfologia.

No que diz respeito às questões de engenharia, foram encontradas soluções técnicas para as fundações, as lajes, as vigas e os projetos hidráulicos, sendo que essas metas foram atingidas quase por completo, restando apenas o dimensionamento e pormenorização finais associadas ao projeto executivo.

Outros projetos, como os de redes elétricas e comunicações, serão realizados de forma a ficarem expostos, para que haja redução direta dos custos e sua instalação em fábrica, embora ainda seja necessário desenvolver os desenhos correspondentes. Embora não tenham sido desenvolvidos por completo, o projeto prevê grelhas de ventilação para o espaço das fundações e grelhas para entrada de ar pelas janelas e portas da habitação.

É importante compreender que, apesar de algumas metas não terem sido alcançadas em sua plenitude, o projeto avançou consideravelmente. A definição do layout interno, dos elementos arquitetônicos, das soluções estruturais e dos sistemas hidráulicos representa um progresso significativo no desenvolvimento do protótipo de habitação de baixo custo. Os objetivos alcançados nessa tese constituem uma base sólida para a continuação do processo para projeto de execução global, possibilitando a realização dos cálculos de dimensionamento em falta e a conclusão dos desenhos necessários para os projetos elétricos e de comunicações, entre outros.

5.3 OBJETIVOS FUTUROS

Há certos componentes do projeto que o autor gostaria de ter desenvolvido com mais detalhes, mas devido à limitação de tempo, tal não foi possível. Diante dessa situação, o autor propõe em seguida um conjunto de ideias que podem servir como base para futuros desenvolvimentos deste trabalho. Essas ideias correspondem a áreas de aprimoramento que podem ajudar na evolução futura do projeto.

Dentre as propostas de desenvolvimento futuro, uma delas é a realização dos cálculos finais de dimensionamento estrutural, a elaboração dos desenhos dos projetos elétricos e de comunicações, e a consideração de soluções detalhadas para as caixilharias, o isolamento térmico, acústico, e contra incêndios da habitação, entre outros. Esses elementos são importantes para garantir a segurança, o conforto e o correto funcionamento do protótipo de habitação de baixo custo.

Além disso, o autor prevê a exploração de alternativas para a otimização dos recursos e a incorporação de novas tecnologias sustentáveis no projeto para diminuir a pegada ecológica da construção. Isso inclui a pesquisa sobre materiais e soluções de construção ecológicos, com base em organismos acadêmicos ou associativos que fazem essa análise. A integração de sistema de captação de reaproveitamento das águas também seria bem-vindo. Outra área de desenvolvimento futuro será a realização de estudos de viabilidade econômica e financeira, a partir do mapa de quantidade inicial já concebido, com o fim de avaliar o custo do protótipo de habitação de baixo custo e da sua relação com os valores correntemente praticados no mercado imobiliário para soluções construtivas tradicionais ou pré-fabricadas aplicadas em construções de baixo custo.

Essas propostas têm como objetivo melhorar e ampliar o escopo do projeto, contribuindo para a sua aplicabilidade e relevância no contexto atual da construção modular em madeira. Com a implementação dessas diretrizes de projeto, o autor pensa que será possível obter uma solução progressivamente mais eficiente e de acordo com as necessidades da sociedade.

Mesmo que alguns aspectos não tenham sido completamente desenvolvidos no presente trabalho, o autor entende a importância de identificar oportunidades de aprimoramento e de assim sugerir que essas ideias sejam estudadas em pesquisas futuras, com o objetivo de agregar o valor e impacto ao projeto.

5.4 PROTÓTIPO FÍSICO DA SOLUÇÃO PROJETADA

De qualquer forma, o desenvolvimento futuro essencial relaciona-se com a construção de um protótipo físico, logo que exista um projeto de execução suficientemente detalhado.

Apesar de todo o embasamento teórico, a construção física de um protótipo de habitação se torna importante para verificar sua viabilidade e realizar eventuais ajustes de uma forma mais célere e efetiva. A construção física permitirá uma avaliação prática do protótipo, considerando aspetos como a montagem dos componentes modulares estruturais, a viabilidade dos sistemas hidráulicos e elétricos, além da avaliação da qualidade do projeto que resultará da avaliação “real” física da viabilidade do processo de instalação de materiais e componentes e da funcionalidade das soluções projetadas ao nível de espaços e layout interno, entre outras.

Portanto, a construção do protótipo vai gerar uma oportunidade valiosa para validar as diretrizes e as soluções propostas. Será possível identificar possíveis limitações, fazer ajustes e refinamentos necessários, além de adquirir um conhecimento real e aprofundado sobre a construção modular em madeira, através de uma experiência efetiva de concretização.

Com base nessa premissa, o autor acredita que a construção do protótipo será um passo base essencial para avançar no desenvolvimento deste projeto. A viabilidade técnica e de custos poderá ser confirmada, e as informações geradas durante a construção poderão servir como melhorias futuras do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Dinheiro Vivo. (<https://www.dinheirovivo.pt/economia/nacional/precos-das-casas-tiveram-em-2022-o-maior-aumento-dos-ultimos-30-anos-15708793>) 23/01/2023.
2. Casema - Casas Especiais de Madeira, abril de 2013. (<http://www.casema.pt/sobre/um-pouco-de-historia>).
3. Dos abrigos da pré-história aos edifícios do século XXI https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/26503/1/Lourenco_Branco) 14/03/2023.
4. Técnicas construtivas utilizando a madeira e a sua evolução histórica (<https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/1118>) 04/05/2017.
5. Gonçalo de Almeida Rocha Dias Pires, F. *Sistemas construtivos modulares em madeira*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Univerisade de Aveiro, 2013.
6. Angélique Caseiro, *O Sistema construtivo modular em madeira como contributo à arquitetura sustentável*. Dissertação de Mestrado de Arquitetura, Univesidade da Beira Interior, 2013.
7. Marques, L. E. M. M. *O PAPEL DA MADEIRA NA SUSTENTABILIDADE DA CONSTRUÇÃO*. Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
8. Isabel Marques Vilela, M. *A madeira na construção coletiva*. Dissertação de Mestrado de Arquitetura, Universidade Lusófona do Porto, 2013.
9. SOMAPIL – Madeira do Mundo. Maio de 2013. (<http://www.lapponia-house.com/site/Home.aspx>)
10. JULAR – (www.jular.pt) 14/03/2023.
11. Mundimat – (<https://mundimatonline.pt/loja/sem-categoria/painel-osb-3/>) 14/03/2023.
12. Leroy Merlin – (<https://www.leroymerlin.pt/produtos/madeiras-e-acrilicos/paineis-para-construcao/mdf/placa-de-mdf-2440x1220x3mm-11190914.html>) 14/03/2023
13. Filipe Rodrigues de Albino Guerreiro, M. *Sistema Modular de Habitação Temporária em Madeira*. Dissertação de Mestrado de Arquitetura, Instituto Superior Manuel Teixeira Gomes, 2018.
14. Archidaily – (<https://www.archdaily.com.br/br/928061/o-que-e-madeira-laminada-colada-mlc-ou-glulam/5dc989783312fd4f60000012-o-que-e-madeira-laminada-colada-mlc-ou-glulam-imagem>) 18/03/2023
15. Tomás Francisco Ribeiro Mendes, M. *Dimensionamento de estruturas em madeira: Coberturas e Pavimentos*. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa 2010.
16. Tiago Caridade Torres, J. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.
17. Green, M. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. ARCHITECTURE + DESIGN, Vancouver, 2012.

18. EUROPEAN WOOD - Strategies for sustainable construction: Building with wood in China. European Wood and Canada Wood, 2010.
19. Wolfgang, R. *Timber Construction for Trade, Industry, Administration*. Basel, 2014.
20. Schandula, A. *Construcción prefabricada en madera*. 2012.
21. MADEIRAESTRUTURAL - *A Madeira: um Material Resistente ao Fogo*, 13-07-2009 (<http://madeiraestrutural.wordpress.com>)
22. UNESCO. - Património da Humanidade Volume IV. Rio de Mouro, 2004.
23. Martitegui Arriaga, F. *Estruturas de madeira. Tectónica Estructuras madera (II)*, 2001.
24. Hamill Creek Timber Homes (<https://hamillcreek.com/blog/heavy-timber-construction/>), 2020.
25. Europages – (<https://www.europages.pt/Casas-em-Post-Beam/RUSTICASACONSTRUCOES-LDA/cpid-6169566.html>), 2023.
26. BURCHALL, J. Timber-Frame Housing. 1984.
27. Moura Pinto, E. *Proteção contra incêndio para habitações em madeira*. São Paulo: Universidade de São Paulo. 2001.
28. Loxam – (<https://degraus.com.br/conheca-os-beneficios-das-estruturas-de-madeira/>) , 2019.
29. Chalé de Madeira – (<https://chaledemadeira.com/construcao/isolante-termico-para-parede-de-madeira/>), 2021.
30. Timber2U (<https://www.timber2udirect.co.uk/5-benefits-of-using-a-timber-frame-for-your-home-construction/>), 20 de Outubro de ?.
31. Britannica – (<https://www.britannica.com/technology/light-frame-construction>). 20/03/2023
32. WEG – (<https://www.weg.net/tomadas/blog/arquitetura/entenda-como-funciona-a-construcao-modular/>) – 2021.
33. MASCARÓ L. Coordinación Modular? Qué es?. Buenos Aires. 1976.
34. GREVEN H. Coordenação Modular, Técnicas não convencionais em edificação. Porto Alegre. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. 2000.
35. Casas Pré Fabricadas – (<http://casasprefab.blogspot.com/2008/04/construo.html>) . 20/03/2023
36. CGD – (<https://www.cgd.pt/Site/Saldo-Positivo/Sustentabilidade/Pages/casas-modulares-prefabricadas.aspx>). 22/03/2023
37. OPUS – (<https://opuscm.com.br/blog/vantagens-e-desvantagens-da-construcao-modular/>). 22/03/2023
38. DREAMSTIME – (<https://pt.dreamstime.com/fotografia-editorial-volvo-fh-transporta-o-m%C3%B3dulo-da-casa-de-premade-como-carga-de-tamanho-grande-image70486817>). 22/03/2023

39. ROSA E. L. Coordenação modular em sistemas leves de madeira e sistemas mistos. Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. 10p. 2009.
40. Modular Building Institute, MBI. 1983.
41. OLIVEIRA, LARA CONSTANTINO DE. A habitação modular: casas de madeira no Portugal contemporâneo. Dissertação de mestrado de Arquitetura, Universidade Lusíadas de Lisboa. 2008.
42. MADE IN CHINA – (https://pt.made-in-china.com/co_khomesteelstructure/product_Temporary-Construction-Mobile-Container-Toilet_uoshhognyg.html). 24/03/2023
43. DORRHOFFER, 2008. (Adaptado). 24/03/2023
44. CAPORIONI G. La coordinación modular. Barcelona. (1971).
45. BARROS S. V. H. Arquitetura, sustentabilidade e coordenação modular – Desenvolvimento de sistema construtivo modular. Universidade da Beira Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. 97p. 2011
46. LUCINI H. Manual técnico de modulação de vãos e esquadrias. São Paulo. 2001.
47. SILVA, J. Princípios para o Desenvolvimento de Projetos com Recurso a Ferramentas BIM. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2013.
48. HUGHES, D. (2013). Bradley BIM | Revit -ArchiCAD -Bentley - Vectorworks. Disponível em (<http://bradleybim.com/2013/11/24/download-mcgraw-hill-lean-construction-bimreport-2013/>)
49. Akinci, B., Fisher, M., & Kunz, J. (2002). Automated Generation of Work Spaced Required by Construction Activities. Journal of Construction and Management, 128.
50. Tekla Corporation. (2015). Exeter University Forum: No room for error in a challenging multi-material project. Disponível em (<http://www.tekla.com/uk/references/exeteruniversity-forum-multi-material-project>)
51. EASTMAN, C.; LISTON, K.; SACKS, R., TEICHOLZ, P. Manual De Bim: Um Guia De Modelagem Da Informação Da Construção Para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores E Incorporadores. Ed Bookman Companhia, 2014.
52. LOTURCO. Projetos Coordenados. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/135/projetos-coordenados-286516-1.aspx> Acesso em: 12 jun. 2008.
53. ESTUDIO DE ORIGEM - <https://www.estudioorigem.com.br/tecnologia-bim/> 24/03/2023
54. Cowles, E., & Warne, P. Prefabrication and Modularization in Construction- 2013 Survey Results. FMI Corporation. 2013.
55. Gequaltec. BIM. Consultado em 2015/09/04, Disponível em (<http://paginas.fe.up.pt/~gequaltec/w/index.php?title=BIM>) 2011.
56. CYPE - <https://info.cype.com/pt/novidade/ligacoes-de-elementos-estruturais-de-madeira/> 24/03/2023
57. BLOG DOS ENGENHEIROS – (<https://blogdosengenheiros.com.br/projetos-em-bim-vantagens-e-desvantagens/>) 24/03/2023

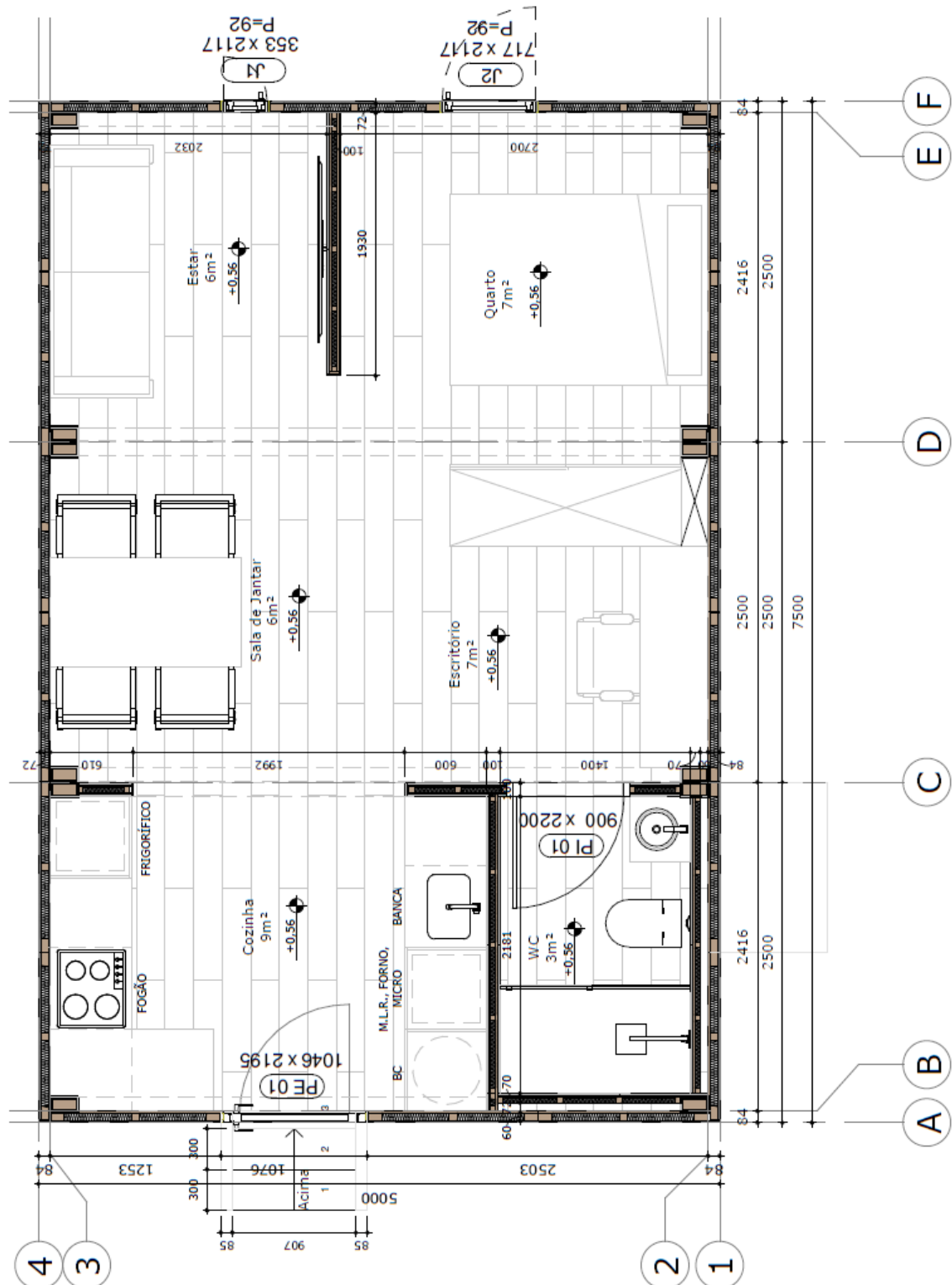
58. IBERCAD – (<https://www.ibercad.pt/casas-modulares-1-archllinexp-software-bim.html>) 24/03/2023
59. TIAGO GARLIPP, Engenheiro Civil, Artigo de LinkedIn (<https://www.linkedin.com/pulse/s%C3%A9rie-artigos-bim-grau-de-confiabilidade-do-e-sua-rela%C3%A7%C3%A3o-garlipp/?originalSubdomain=pt>) 2017.
60. MODULAR SYSTEM (<http://www.modular-system.com/pt/projectos/refeitorio-bluepharma/>) 28/03/2023
61. IMOWOOD (<https://www.imowood.pt/casas-de-madeira/modulares/configuracoes/>) 28/03/2023
62. ARCHIDAILY(<https://www.archdaily.com.br/br/796233/treehouse-riga-appleton-and-domingos>) 28/03/2023
63. Treehouse. JULAR - Madeiras, S.A., maio de 2013, 2010. (<http://www.treehouse.pt/>) 28/03/2023
64. SOUSA, Mário Rebelo de; BRANDÃO, Marta - Arquitectura, conceito preconceito [Em Linha]. Guimarães: Universidade do Minho. 2013.
65. CAMPOS, José (2016) - José Campos architectural photography. [Em Linha]. Porto: Architekturphotographie. Disponível em (<http://josecamposphotography.com/mima-house/>>)
66. MODULAR BUILDING INSTITUTE - Permanent Modular Construction [Em Linha]. Virginia : Modular Building Institute. 2011.
67. MIMA - High end architecture made simple. Viana do Castelo: MIMA. 2011.
68. ModularSystem. Modular System Retrieved Maio de 2013, from (<http://www.modular-system.com>)
69. ARQUITETURA E ENGENHARIA MAGAZINE, 2014. (<http://arquitecturaengenhariamagazine.blogspot.com/2014/05/nomad-modular-system-portugal.html>) 28/03/2023
70. MODULAR SYSTEM - (<http://www.modular-system.com/pt/projectos/nomad/>) 28/03/2023
71. MODULAR SYSTEM - (<http://www.modular-system.com/pt/projectos/casa-vilar-do-pinheiro/>) 28/03/2023
72. ARCSTREET – (<https://www.arcstreet.com/article-wood-house-in-canicada-02-in-geres-portugal-project-by-arquiporto-architecture-studio-121933468.html>)) 28/03/2023
73. MODULAR SYSTEM – (<http://www.modular-system.com/pt/projectos/mobile-home/>) 28/03/2023
74. IMOWOOD. Imowood - Imóveis de Madeira (<http://www.imowood.pt/>) 2012.
75. IMOWOOD – (<https://www.imowood.pt/casas-de-madeira/>) 28/03/2023
76. SARAIVA ASSOCIADOS (<https://www.saraivaeassociados.com/pt-pt/25118/>) 29/03/2023
77. FREEPIK (https://br.freepik.com/vetores-premium/conceito-criativo-de-lampada-simbolo-de-ideia_11024701.htm) 29/03/2023

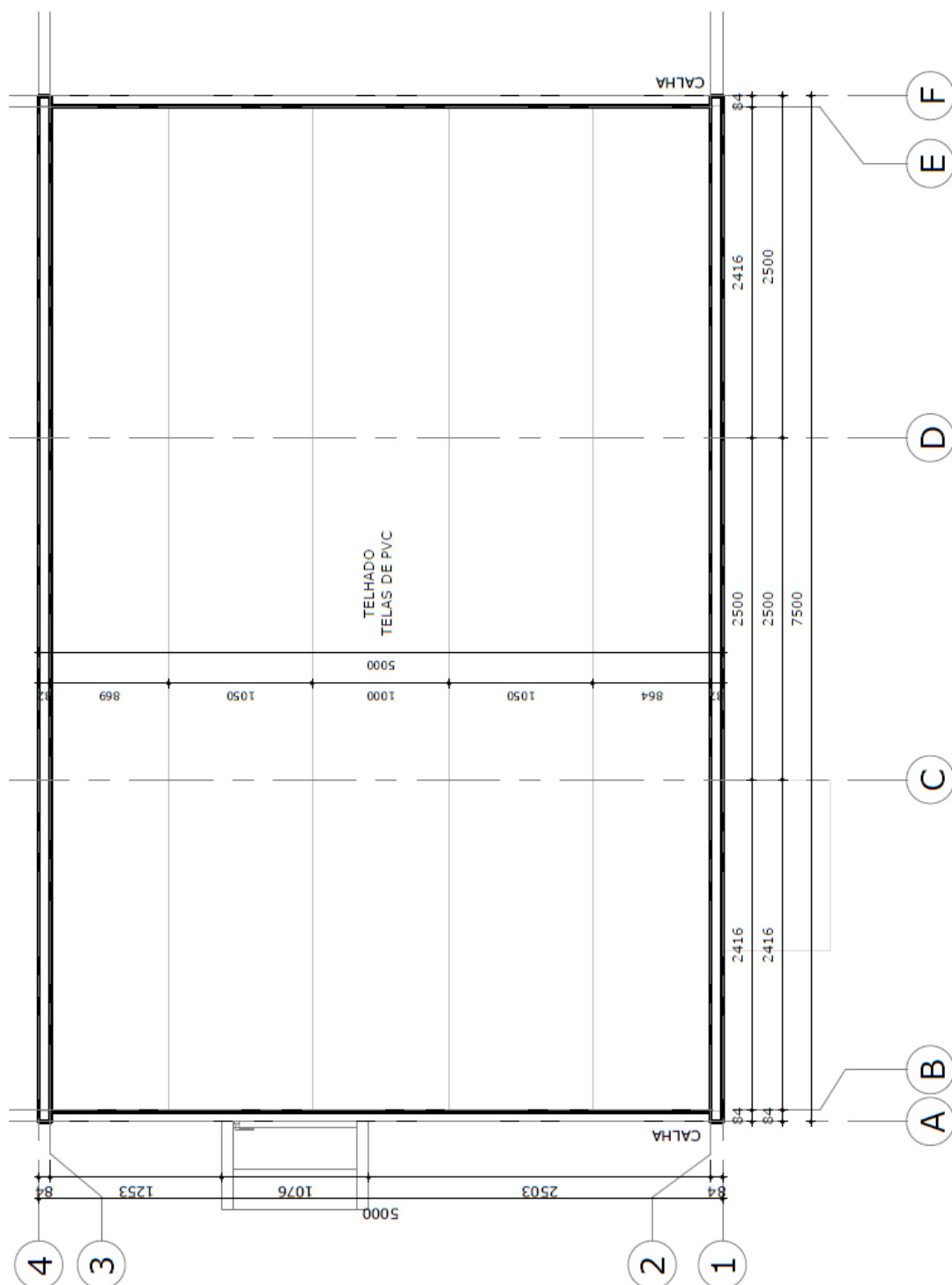
78. ELLEN MARIA, ANHANGUERA (<https://www.passeidireto.com/arquivo/93804141/conceito-x-partido-arquitetonico>) 29/03/2023
79. VIVA DECORA (<https://www.vivadecora.com.br/pro/partido-arquitetonico/>) 29/03/2023
80. CYPE
(http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Estruturas/Madeira/Vigas/Viga_de_madeira_lamela_da_colada.html) 29/03/2023
81. LEROY MERLIN (https://www.leroymerlin.pt/produtos/construcao/isolamento/isolamento-termo-acustico/isolamento-de-la-mineral-volcalis-comfort-50mm-15-84m2-82796915.html?gclid=Cj0KCQjw98ujBhCgARIsAD7QeAhUobl6oyVfmKHTN6HcXaC6TcZWihulY5TrYJKI5KqOvdsSZfVkg4caAtF_EALw_wcB) 05/04/2023
82. HABITARE – (<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/colecao10/cap3.pdf>))
06/06/2023

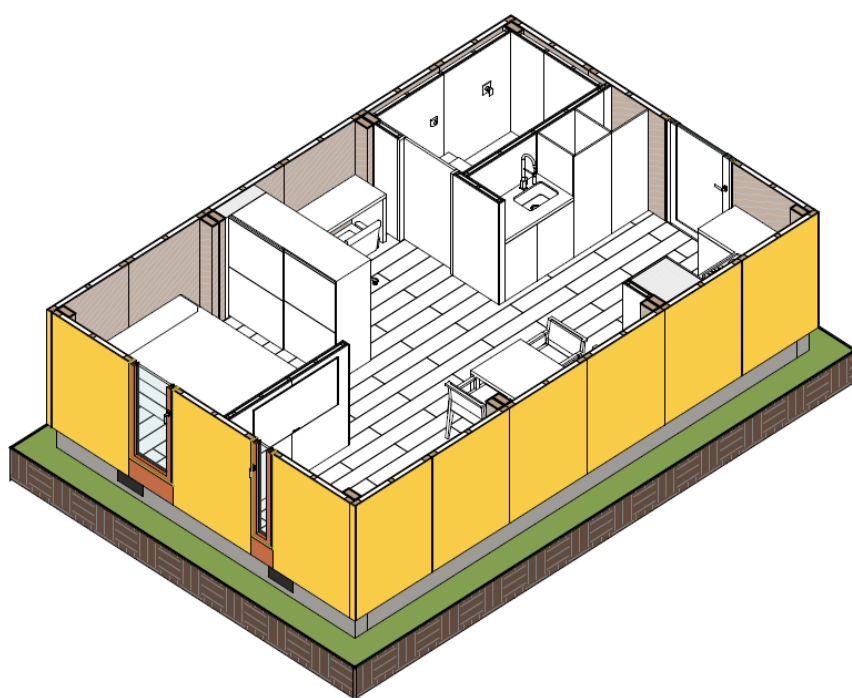
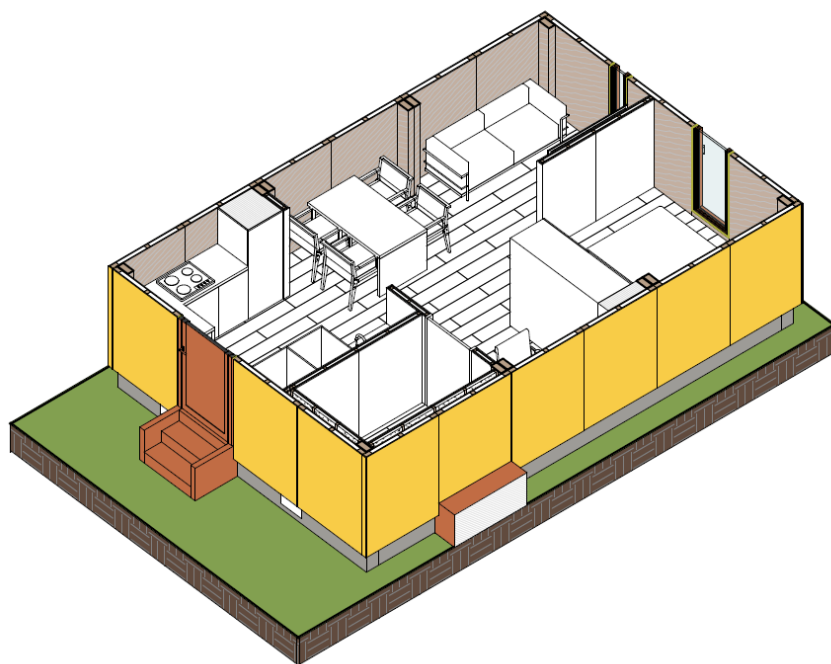
ANEXOS

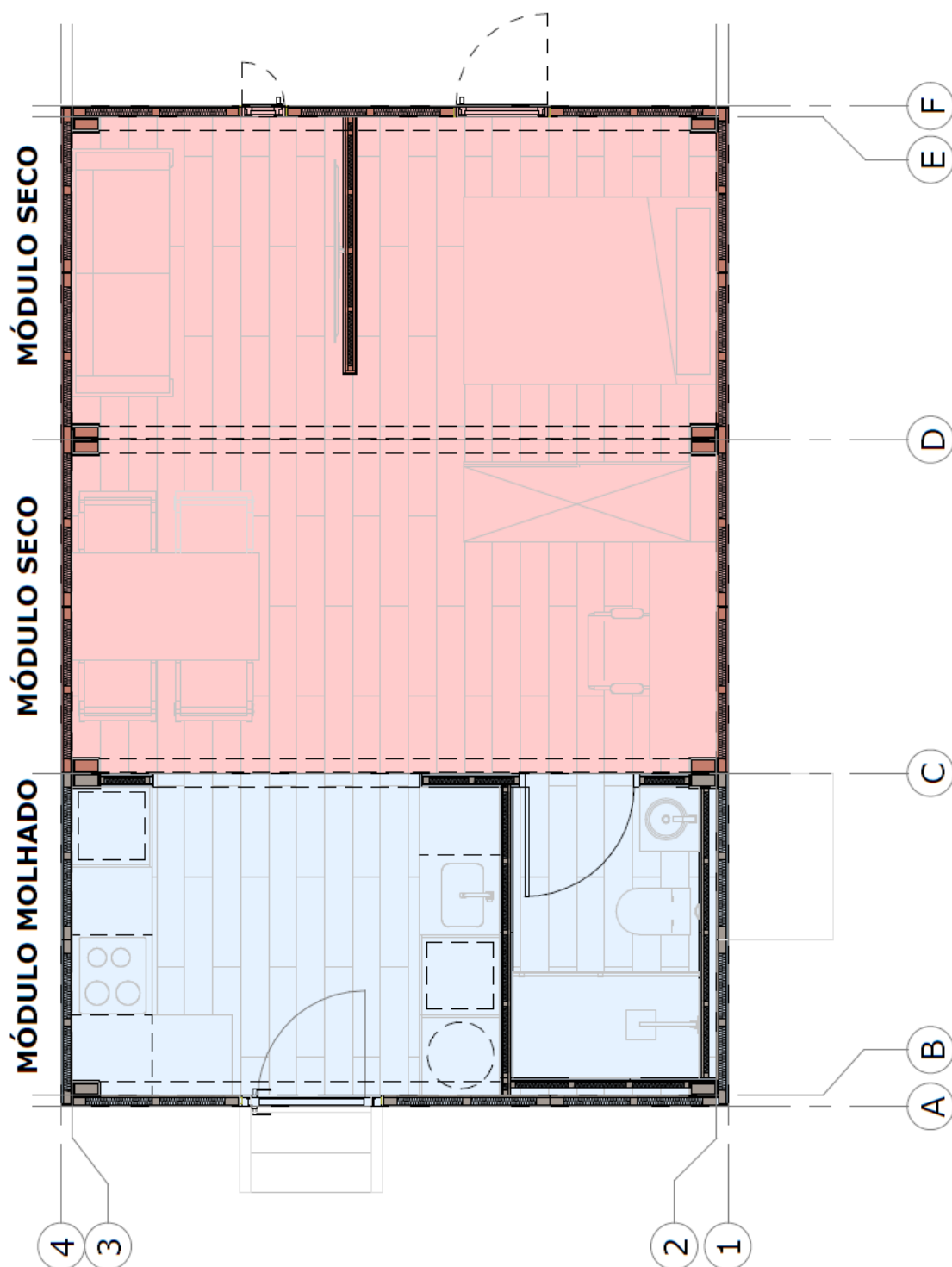
ANEXO 01 – DESENHOS DE ARQUITETURA

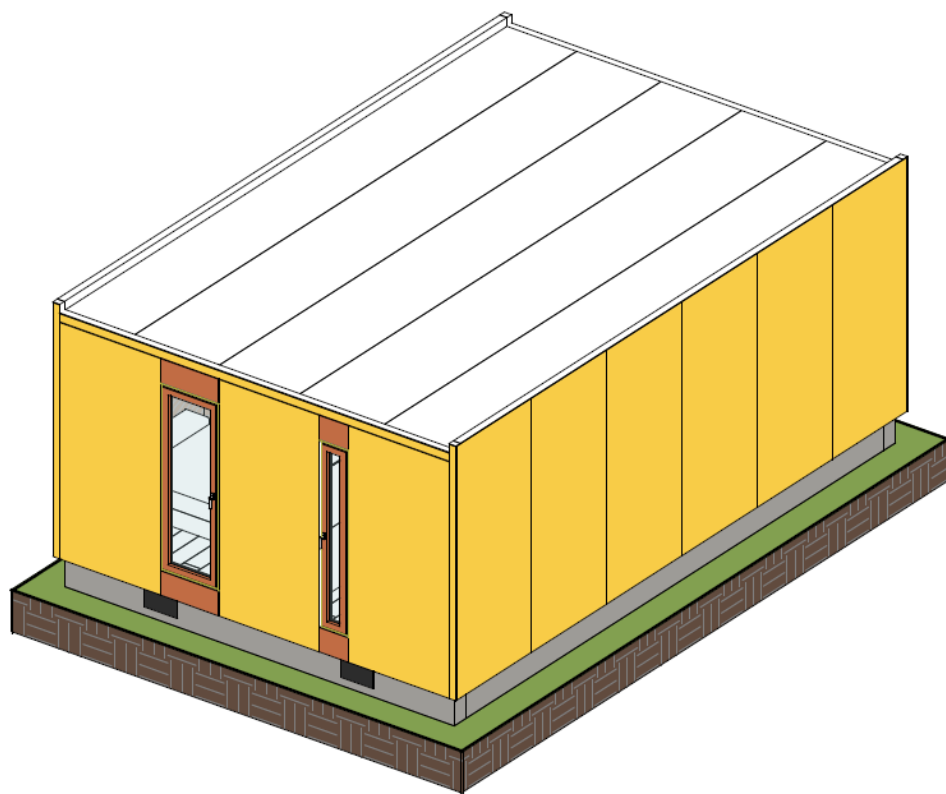
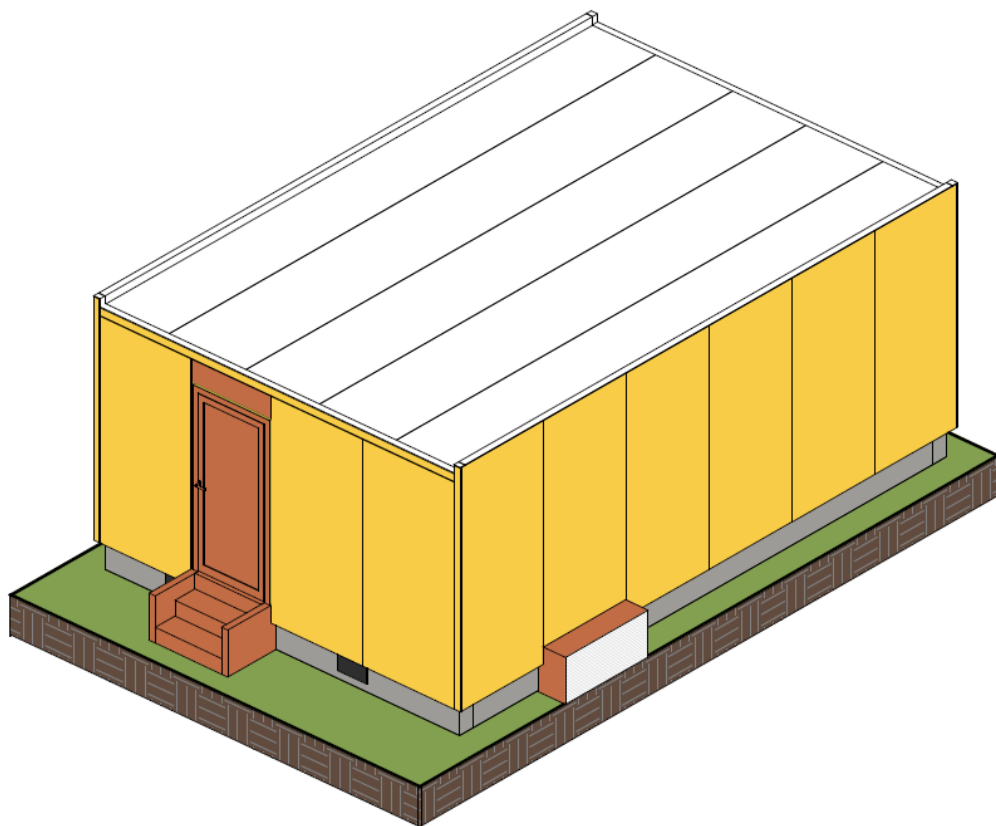
- A. Planta do Piso 00
- B. Planta de Cobertura
- C. Axometria do Piso 00
- D. Tipos de Módulo
- E. 3D Módulo
- F. Implantação 3D dos Módulos

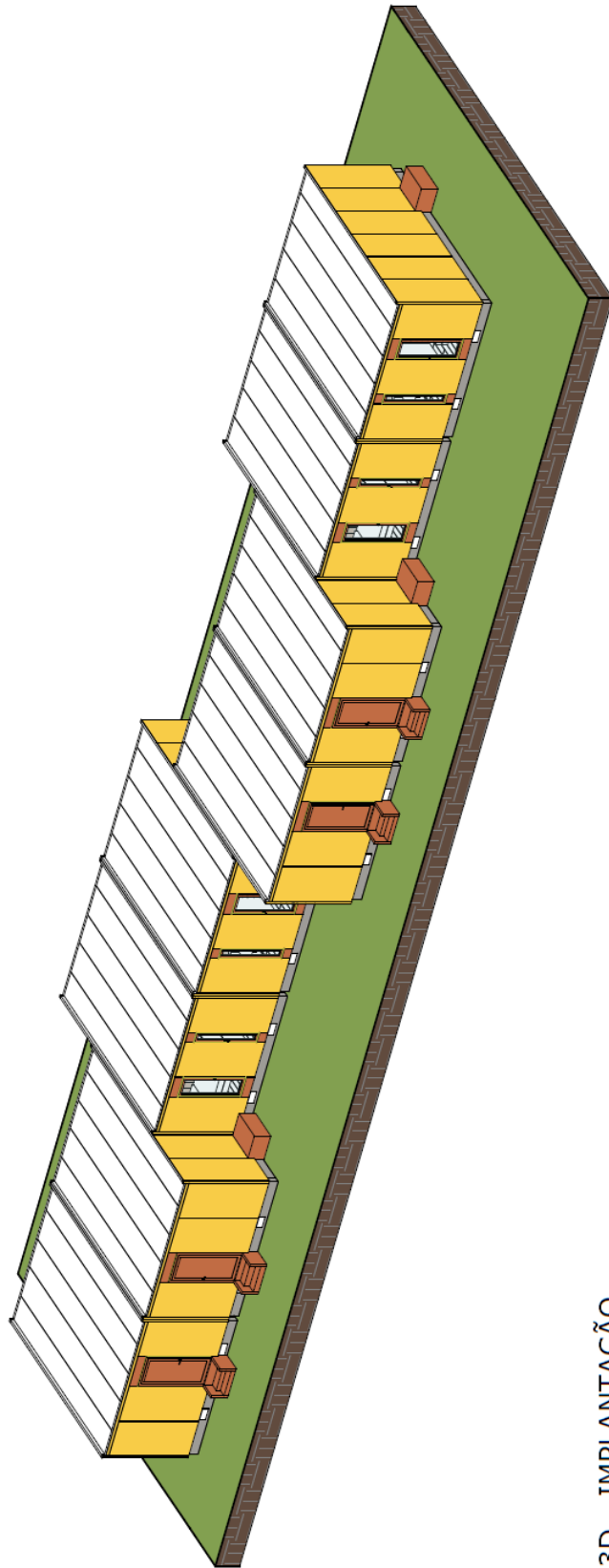








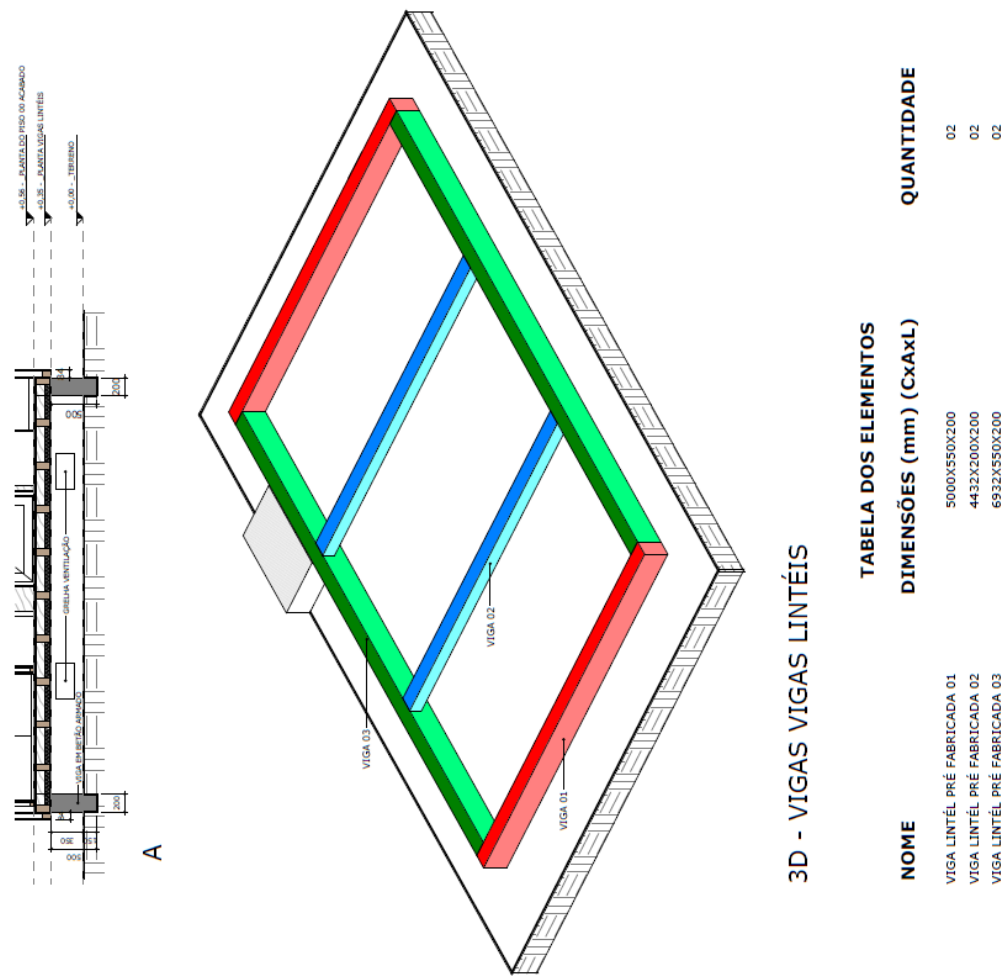




3D - IMPLANTAÇÃO

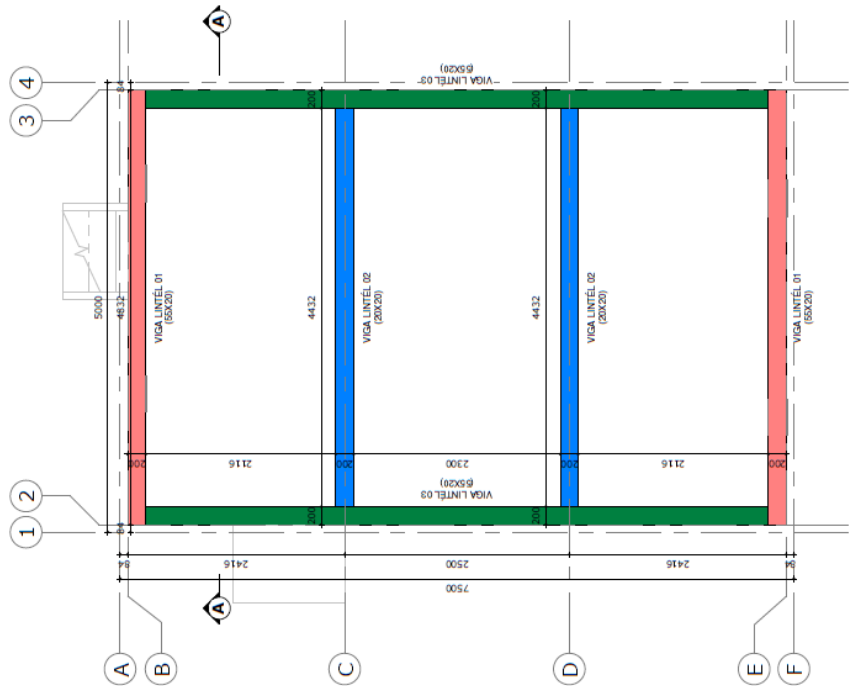
ANEXO 02 – DESENHOS TÉCNICOS

- A. Vigas Lintéis
- B. Lajes Inferiores
- C. Planta do Piso 00
- D. Tabela de Elementos e Pormenores
- E. Vigas Superiores
- F. Lajes Superiores
- G. Planta de Cobertura
- H. Alçado Frontal e Posterior
- I. Alçado Lateral e Cortes
- J. Pormenores3D do Módulo

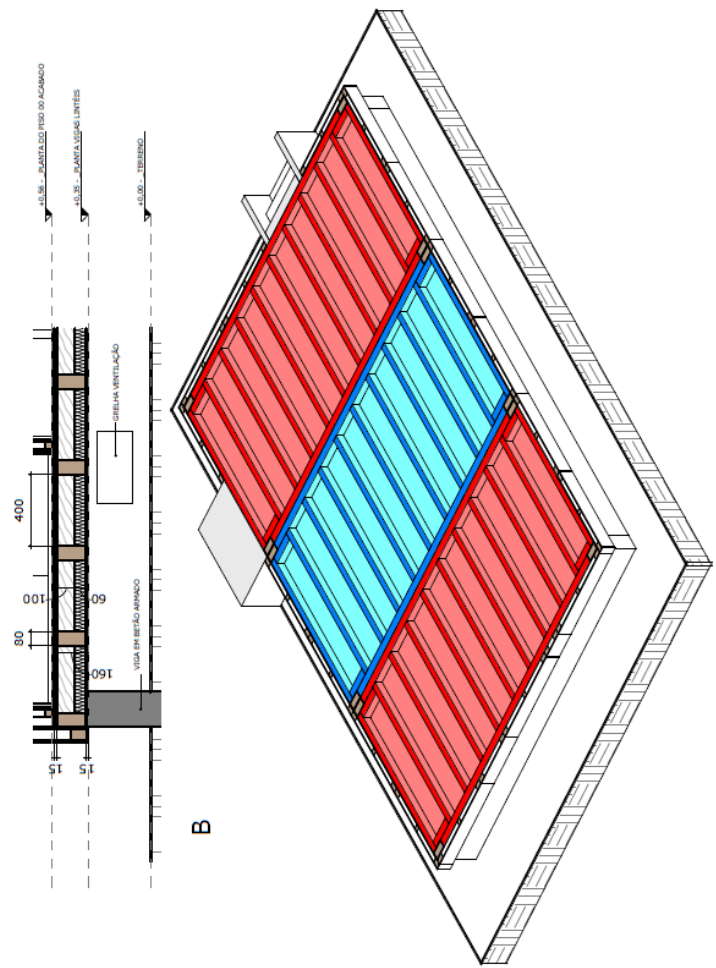


3D - VIGAS VIGAS LINTÉIS

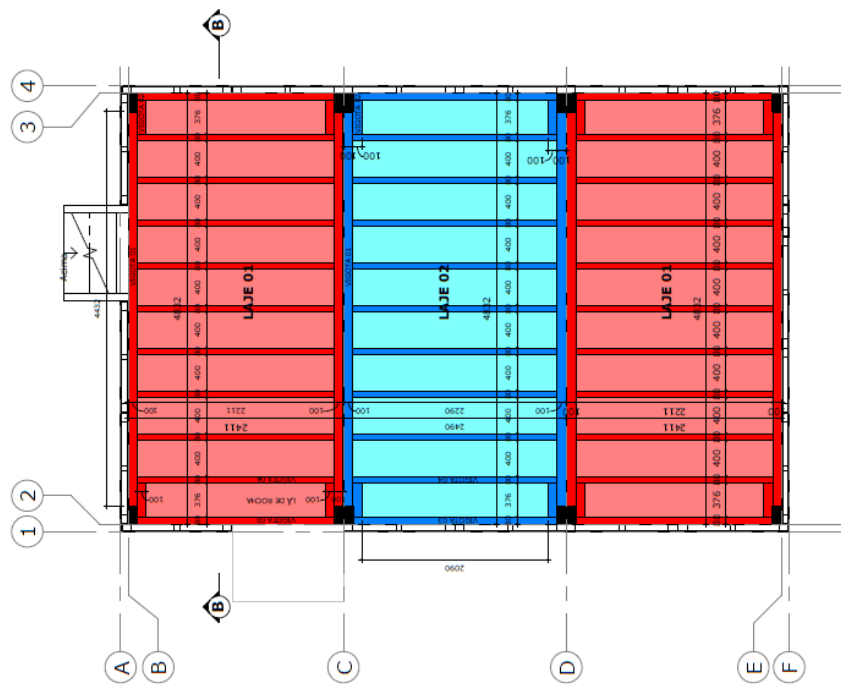
TABELA DOS ELEMENTOS		
NOME	DIMENSÕES (mm) (CxAlL)	QUANTIDADE
VIGA LINTÉL PRÉ FABRICADA 01	5000X550X200	02
VIGA LINTÉL PRÉ FABRICADA 02	4432X200X200	02
VIGA LINTÉL PRÉ FABRICADA 03	6932X550X200	02



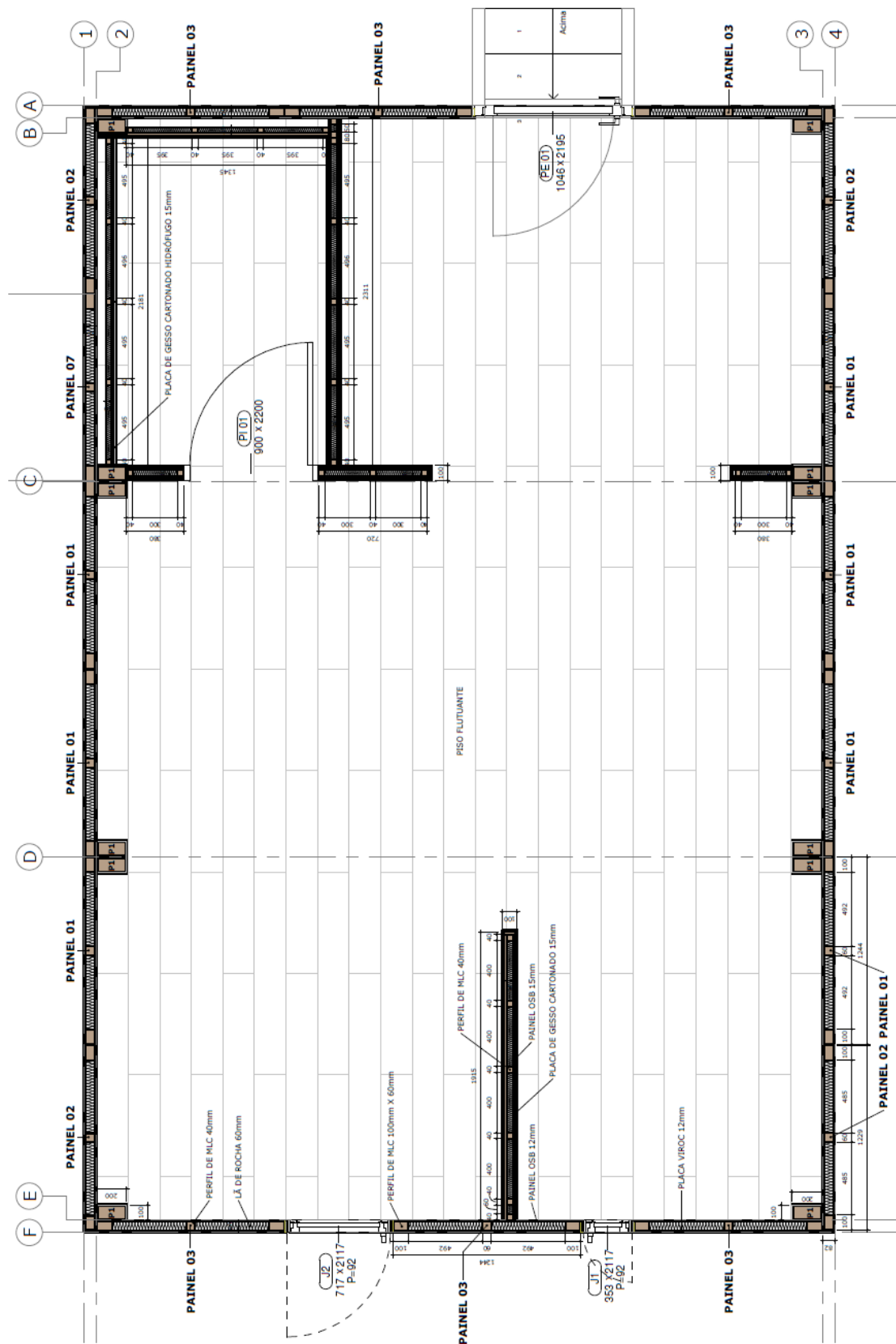
_PLANTA VIGAS LINTÉIS (MODULAÇÃO)



3D - VIGAS LAJES TÉRREOS		
TABELA DE ELEMENTOS		
NOME	DIMENSÕES (mm) (CxaxL)	QUANTIDADE
LAJE 01		
VIGOTA 01	4432X160X100	02
VIGOTA 02	0376X160X100	04
VIGOTA 03	2211X160X080	11
PAINEL OSB 15mm	5000X015X2500	4
LÃ DE ROCHA 60mm	060X1200	16 ML
LAJE 02		
VIGOTA 01	4432X160X100	02
VIGOTA 02	0376X160X100	04
VIGOTA 03	2299X160X080	11
PAINEL OSB 15mm	5000X015X2500	02
LÃ DE ROCHA 60mm	060X1200	7.6 ML



_PLANTA LAJES INFERIORES (MODULAÇÃO)



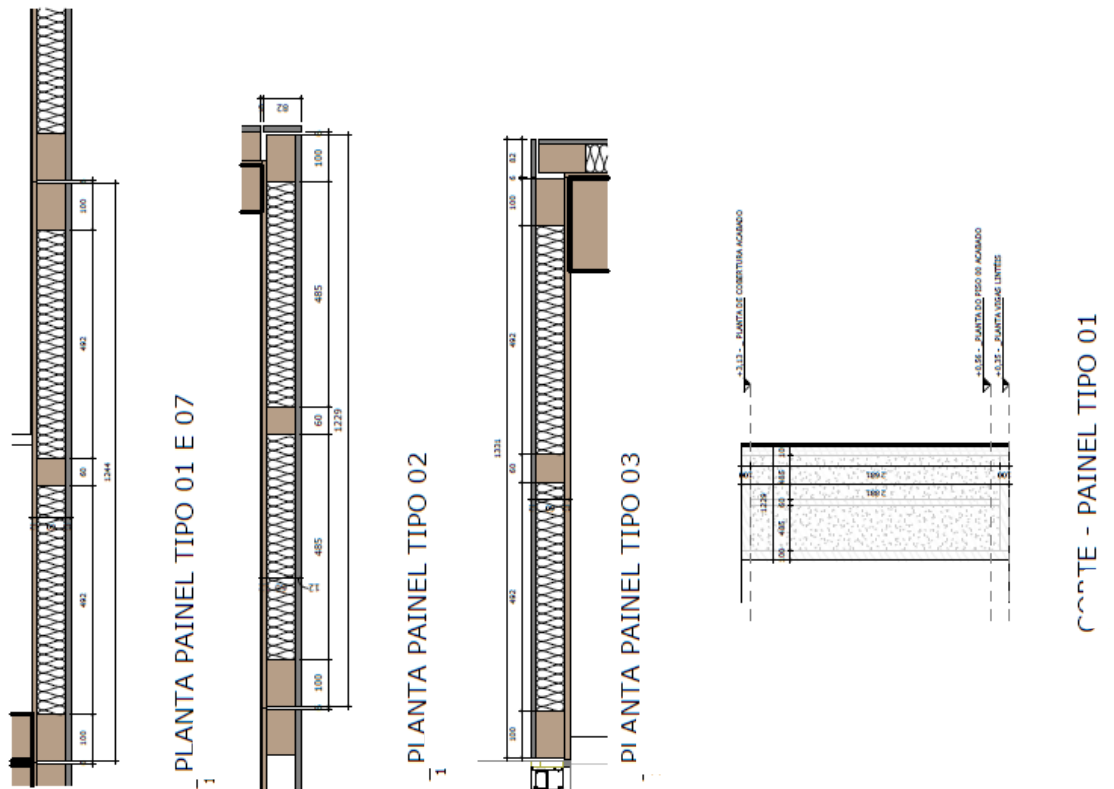
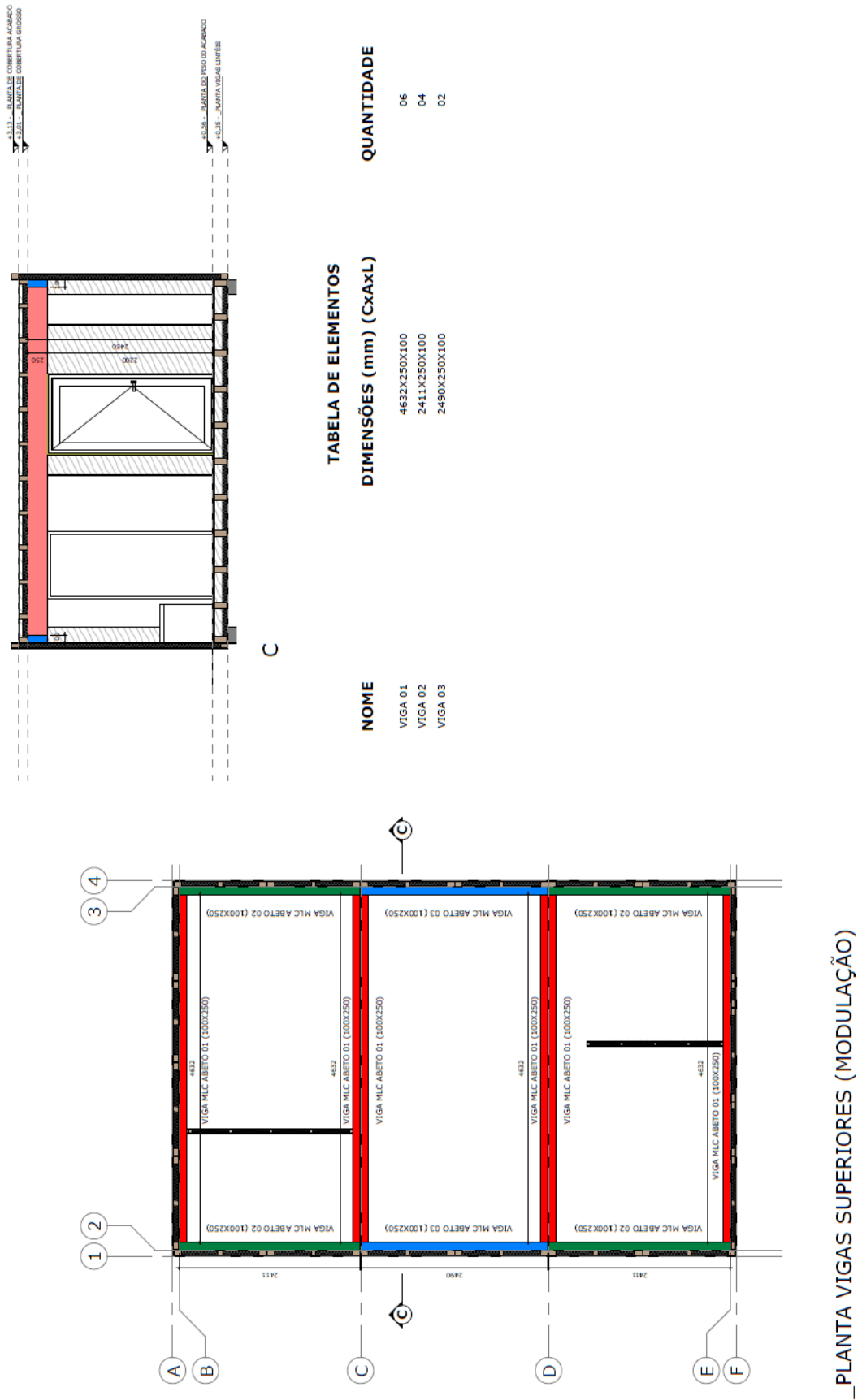
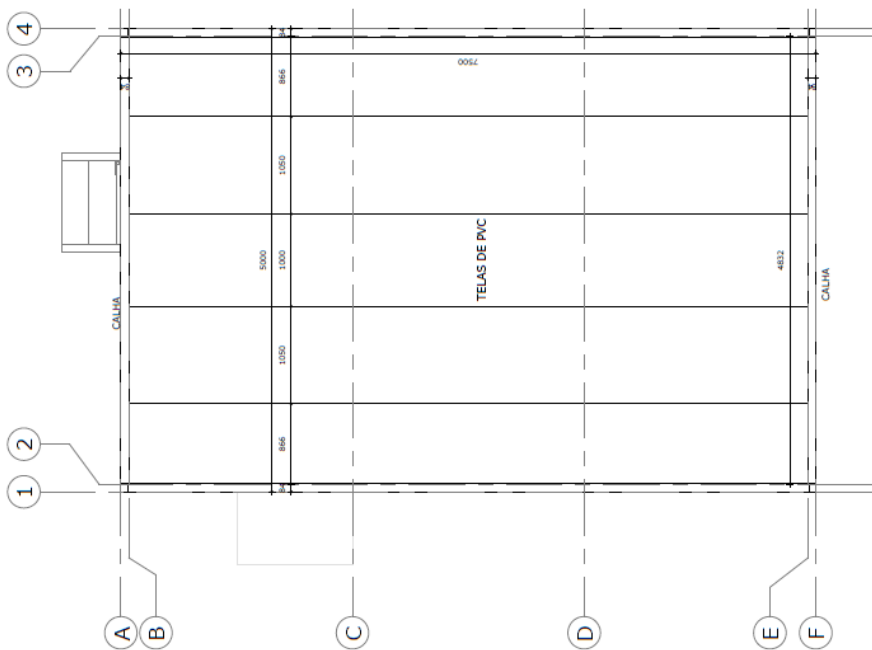
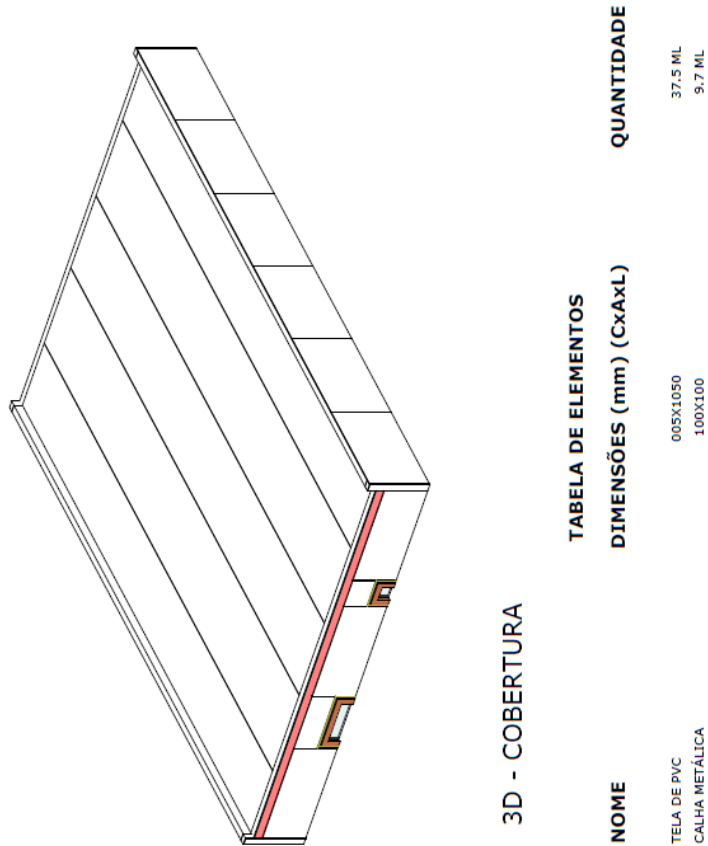
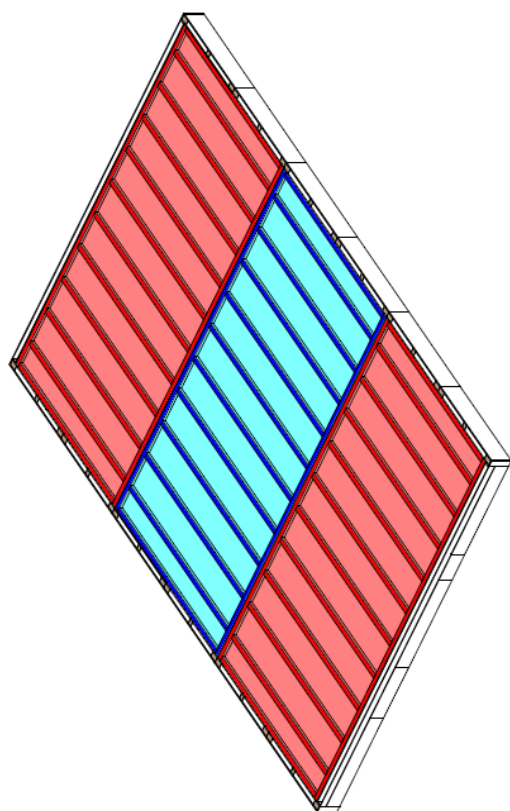


TABELA DE ELEMENTOS		QUANTIDADE
NOME	DIMENSÕES (mm) (CxAl)	
PILARES		
PILAR DE MLC DE ABETO	200X240X100	12
PISO		
PISO FLUTUANTE 12mm	1350X210	35 M2
ESPUMA DE POLIETILENO 3mm	Largura = 1m	37 ML
PAREDES INTERIORES		
PLACAS DE GESSO ACARTONADO 15mm	1200x2500	7
PLACAS DE GESSO ACARTONADO HIDRÓFUGO 15mm	1200x2500	5
PAINEL OSB 15mm	5000X2500	3
PERFIS DE MLC DE ABETO 4X4cm	40X40	80 ML
LÃ DE ROCHA 40mm	LARGURA = 1.2m	23 ML
PAREDES EXTERNAS		
PAINEL OSB 12mm	1250x3000	19
PAINEL 01		
PLACA VIROC 12mm	1250x3000	7
PERFIS DE MLC DE ABETO 6X10cm	7.85 ML / PAINEL	63 ML
PERFIS DE MLC DE ABETO 6X6cm	2.7 ML / PAINEL	22 ML
LÃ DE ROCHA 60mm	LARGURA 1.2M - 2.7 ML / PAINEL	22 ML
PAINEL 02		
PLACA VIROC 12mm	1250x3000	5
PERFIS DE MLC DE ABETO 6X10cm	7.85 ML / PAINEL	32 ML
PERFIS DE MLC DE ABETO 6X6cm	2.7 ML / PAINEL	11 ML
LÃ DE ROCHA 60mm	LARGURA 1.2M - 2.7 ML / PAINEL	22 ML
PAINEL 03		
PLACA VIROC 12mm	1250x3000	6
PERFIS DE MLC DE ABETO 6X10cm	7.5 ML / PAINEL	45 ML
PERFIS DE MLC DE ABETO 6X6cm	2.5 ML / PAINEL	15 ML
LÃ DE ROCHA 60mm	LARGURA 1.2M - 2.5 ML / PAINEL	15 ML
PAINEL 04 A e B, 5 A e B, 6		
PLACA VIROC 12mm	1250x2500	1
PERFIS DE MLC DE ABETO 6X10cm		7.5 ML
PERFIS DE MLC DE ABETO 6X6cm		1 ML
LÃ DE ROCHA 60mm	LARGURA 1.2M	APROVEITA DOS OUTROS
PAINEL 07		
PLACA VIROC 12mm	1250x3000	1
PERFIS DE MLC DE ABETO 6X10cm	7.5 ML / PAINEL	7.5 ML
PERFIS DE MLC DE ABETO 6X6cm	2.7 ML / PAINEL	2.5 ML
LÃ DE ROCHA 60mm	LARGURA 1.2M - 2.7 ML / PAINEL	2.5 ML

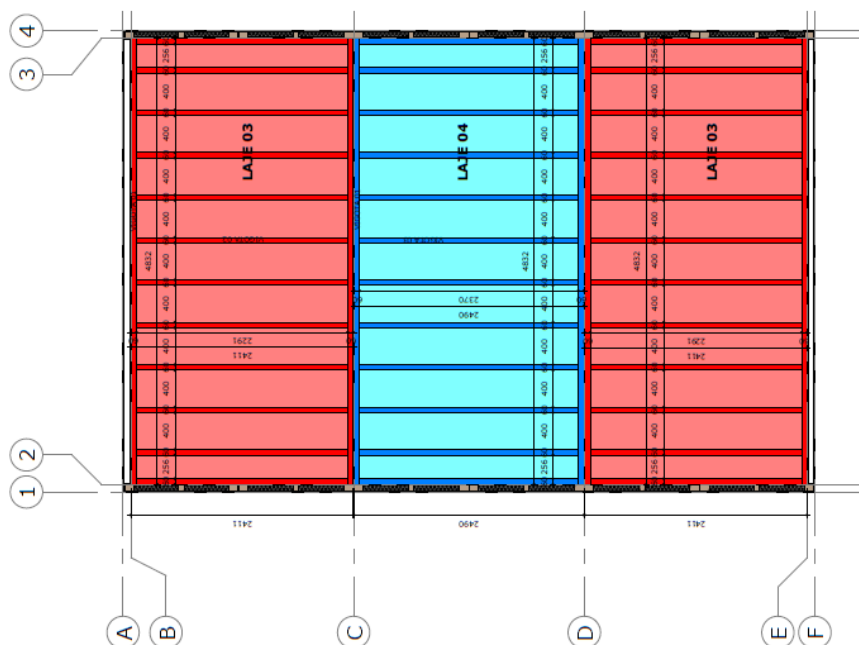




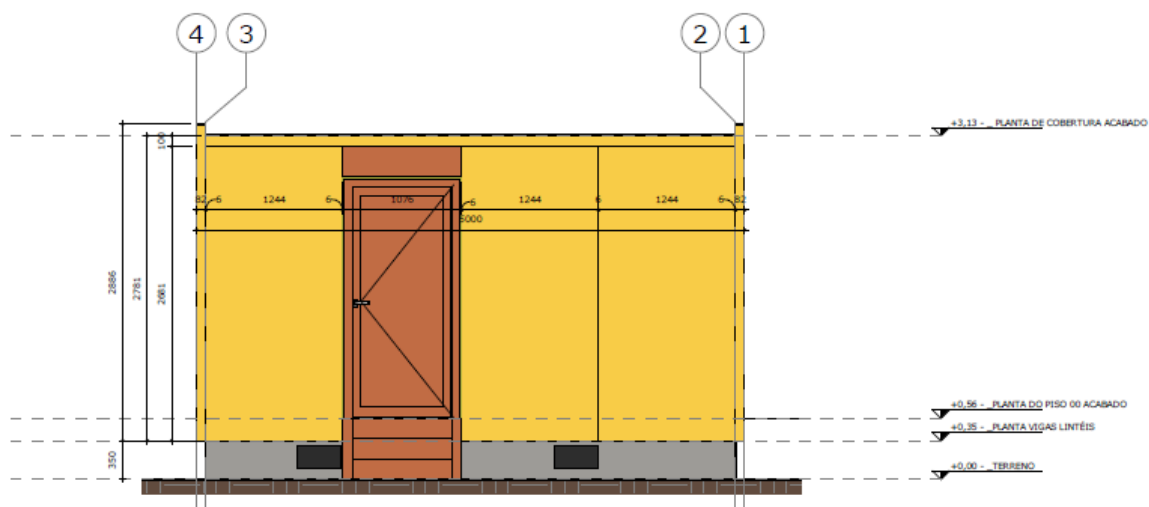


3D - LAJES SUPERIORES

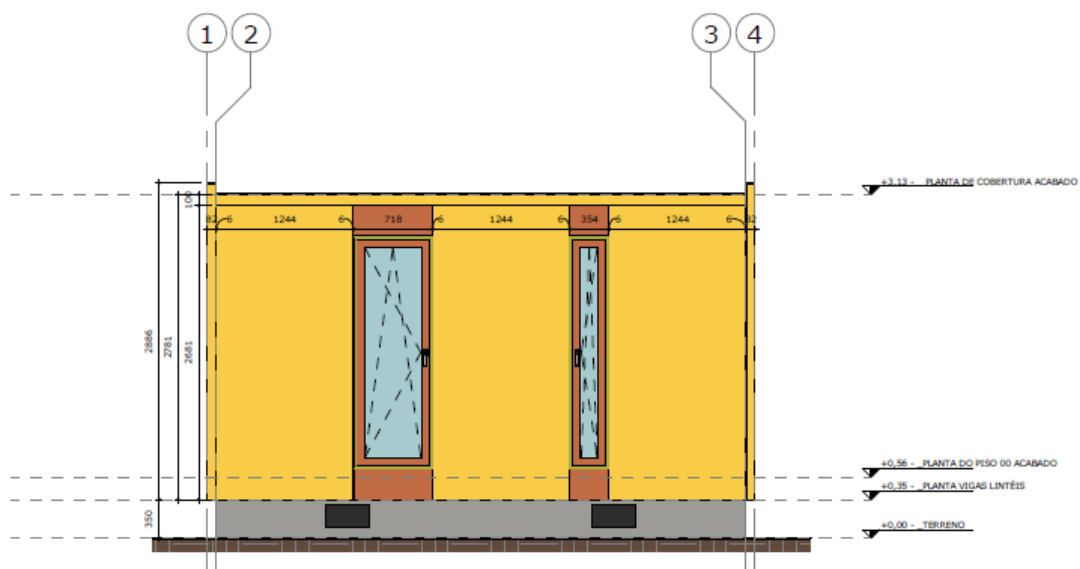
TABELA DE ELEMENTOS		DIMENSÕES (mm) (CxAl)	QUANTIDADE
NOME	LAJE 03		
VIGOTA 01		4832X100X060	04
VIGOTA 02		2291X100X060	24
PAINEL OSB 12mm		5000X012X2500	04
LÃ DE ROCHA 60mm		060X1200	15 ML
LAJE 04			
VIGOTA 01		4432X160X100	02
VIGOTA 03		0376X160X100	04
PAINEL OSB 12mm		5000X012X2500	02
LÃ DE ROCHA 60mm		060X1200	9,5 ML



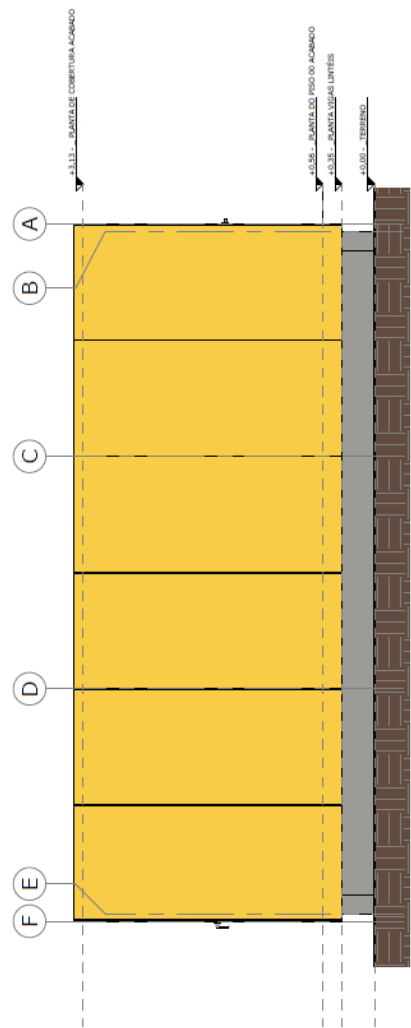
PLANTA LAJES SUPERIORES (MODULAÇÃO)



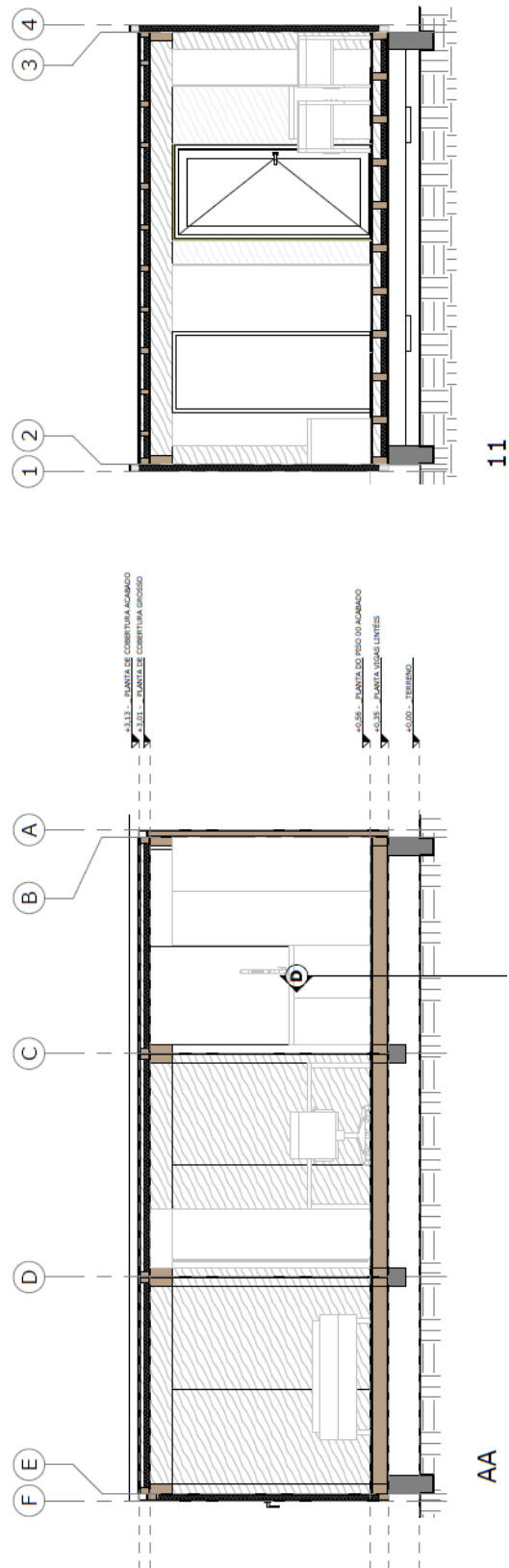
ALÇADO FRONTAL

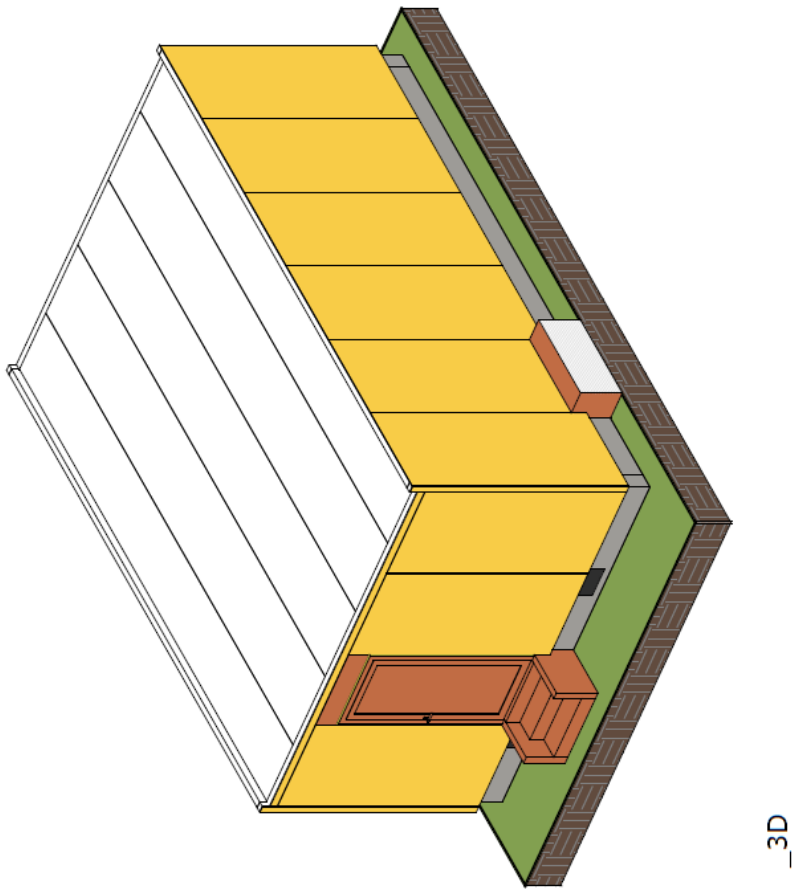


ALÇADO POSTERIOR

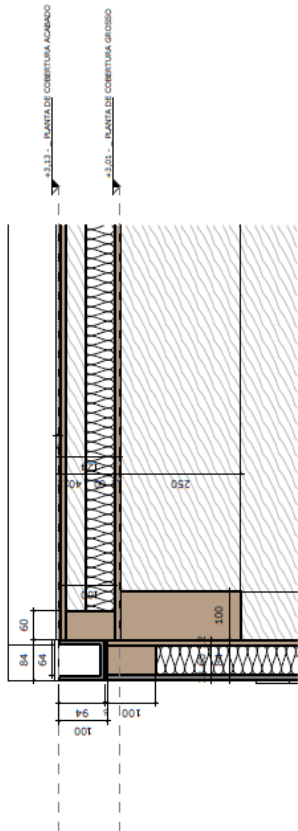


ALÇADO LATERAL

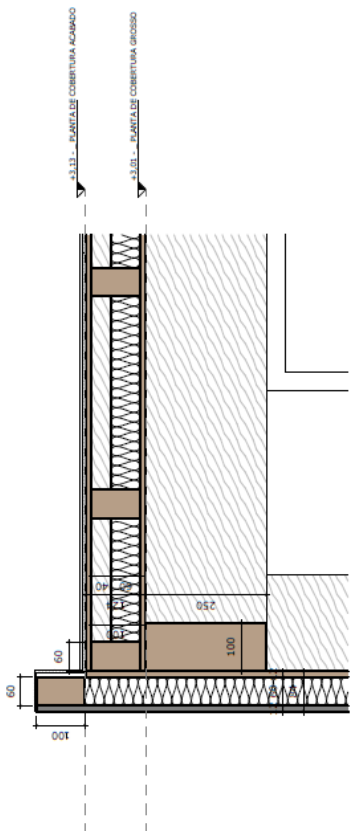




_3D



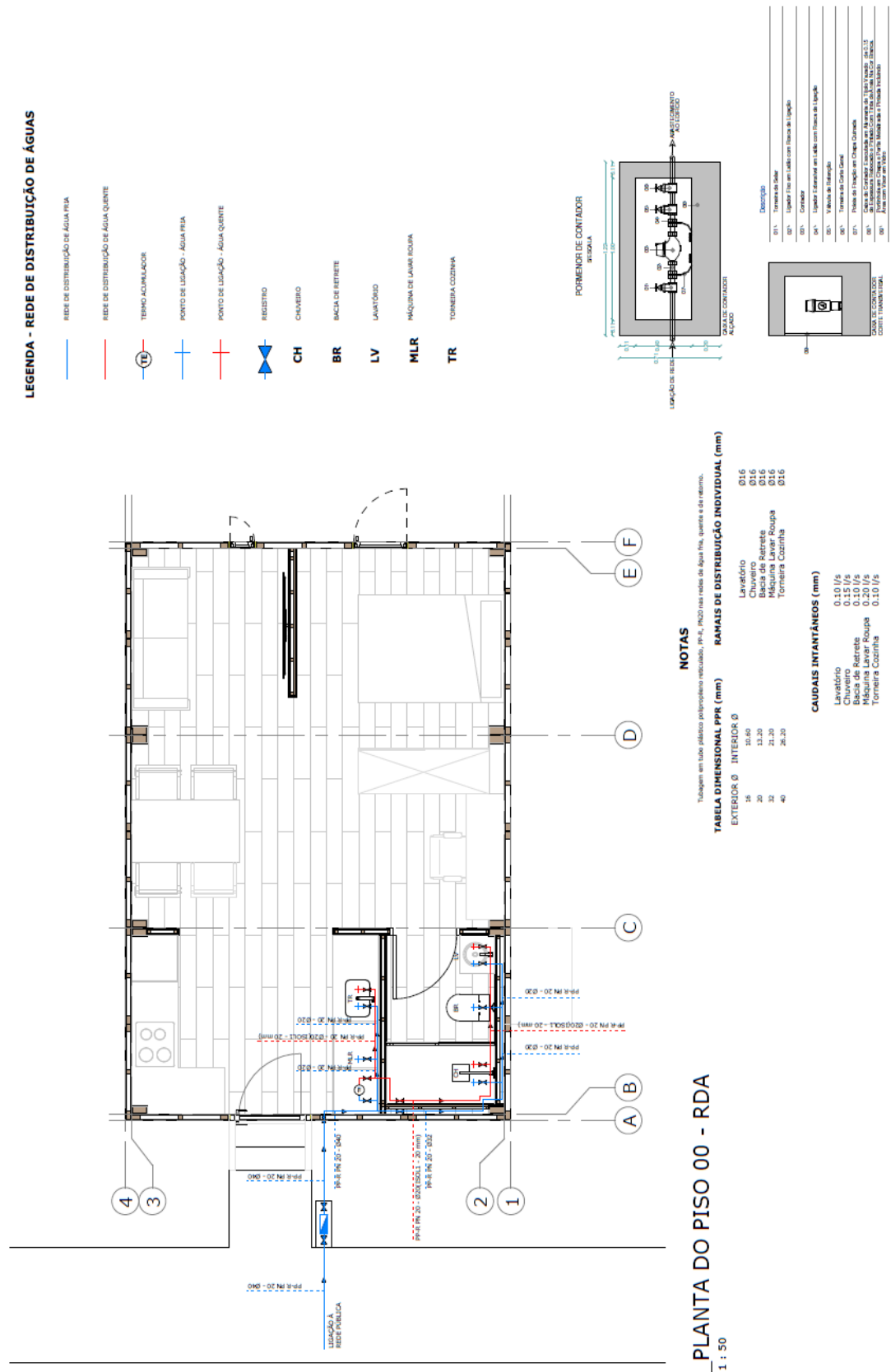
AA - DETALHE CALHA

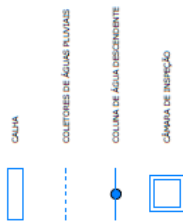


11 - DETALHE RUFO

ANEXO 03 – DESENHOS DE ENGENHARIA

- A. Rede de Distribuição de Água
- B. Rede de Drenagem de Esgotos
- C. Rede de Drenagem Pluvial





NOTAS

A rede de drenagem de águas pluviais será realizada com tubo PVC de classe 0,5 MPa. As cotas quadradas da rede de drenagem de águas pluviais serão executadas em alvenaria de tijolo cerâmico ou em blocos de betão ou em concreto armado.

As calhas quadradas serão executadas em manilhas pré-fabricadas de betão com Tampa em ferro fundido rebatada para encaimento. As tampas das calhas serão rebatadas para acabamento idêntico ao do pavimento contíguo, mesmo quando aplicadas em zonas planificadas. As cotas de fundo serão rebatadas antes da execução dos trabalhos, de forma a garantir a rede pluvial.

